Aus dem Agrikulturchemischen und bakteriologischen Institut
der Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau

Experimentelle Untersuchungen zur Erforschung der Bodenstruktur

---

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen philosophischen Fakultät
der Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Breslau

vorgelegt von

Wolfgang Schirlo.

Promotion: 28. Mai 1931

Breslau 1931.
Gedruckt bei Buchdruckerei und Verlag
Becker & Bärhold, Breslau 6.

Referent: Professor Dr. P. Ehrenberg.

Korreferent: Professor Dr. Berkner.

Rigorosum: 7. Mai 1930.

Gedruckt mit Genehmigung einer hohen philosophischen Fakultät
der Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Breslau.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Experimentelle Untersuchungen zur Erforschung der Bodenstruktur

von

Wolfgang Schirlo.

(Aus dem Agrikulturchemischen Institut der Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau.)

Jene Eigentümlichkeiten des Bodens, die man unter dem Begriff „Struktur" zusammenfaßt, werden gewöhnlich in der bodenkundlichen Literatur trennend in „Einzelkornstruktur" und „Krümelstruktur" unterschieden. Eine klare Darlegung des Begriffes „Struktur" wird aber dabei oft umgangen. Ganz besonders fehlt jede nähere, experimentell begründete Feststellung der einzelnen Strukturform-Arten und eine Ermittelung über die näheren Einzelursachen, die in jedem Falle an der Strukturbildung beteiligt sind. Zwar versucht z. B. Stremme in seinen Grundzügen der praktischen Bodenkunde eine Einteilung der Struktur- und Texturformen zu geben, wobei er in der Hauptsache A. Nabokich[1]) folgt. Doch entbehren die Bezeichnungen einer experimentellen Begründung und Erklärung. Stremme will es auch „unerörtert lassen", ob nicht bei der Übersetzung von A. Nabokichs Originaltext eine etwas schiefe Begriffsbestimmung hinsichtlich der Textur unterlaufen sei. Mit der Heranziehung anderweit ausgearbeiteter physikochemischer Untersuchungsmethoden und solcher der Kolloidchemie zwecks Erforschung der Bodeneigenschaften stellte sich eine neue Gefahr ein, denn bei den in dieser Richtung angestellten

Untersuchungen ermittelte man zwar mannigfaltige Wechselbeziehungen physikalischer, wie chemischer Art zwischen den einzelnen Bodenkomponenten, entfernte sich aber dabei unbemerkt von dem eigentlichen Endzweck, der Bestimmung der Eigenschaften des natürlich oder in bearbeitetem Zustande vorliegenden Erdbodens. Ähnliche Gedanken bringt H. Janert[2]) zum Ausdruck. Er prägt hier den neuen Begriff „Grundkonstante der physikalischen Erscheinungen im Boden", worunter er erstens die Textur, d. h. den Zerteilungsgrad oder die Dispersität des Bodens und zweitens die Struktur oder die Lagerung der Bodenteilchen zueinander, verstanden haben will. Weiter unterscheidet er solche Untersuchungsverfahren, welche die Erfassung einer dieser Grundkonstanten zum Ziele haben, sodann aber die Methoden zur Bestimmung sekundärer Bodeneigenschaften, sekundär deshalb genannt, weil er die verschiedenen Erscheinungsformen des Bodens von den physikalischen Grundkonstanten, Textur und Struktur, als abhängig ansieht. In Janerts Ausführungen liegt indessen eine gewisse Gefahr, da dieselben den Anschein erwecken, als seien Struktur und Textur unveränderlich, was doch nicht der Fall ist. Die Begriffe Textur und Struktur sind von den mineralogischen Untersuchungen der Gesteine erst in die Bodenkunde übernommen worden. Dort zeigen sich Struktur und Textur einmal abhängig von der chemischen Natur der Masse, aus der sich das Gestein entwickelt hat (bei Eruptivgesteinen z. B. das Magma); fernerhin von den physikalischen Verhältnissen, unter denen das Gestein entstand und schließlich von der Zeitdauer, innerhalb derer es ausgebildet wurde. Daher können die Eigenschaften Textur und Struktur hier als konstant angesehen werden. H. Rosenbusch[3]) faßt unter „Struktur" alle Verhältnisse zusammen, die auf der Ausbildungsweise der Gemengteile nach Form und Größe beruhen. Die „Textur" ist dagegen bedingt durch deren räumliche Anordnung und die mehr oder weniger vollkommene Raumerfüllung, also die Art und Weise, wie sich die Gemengteile zum Gestein zusammenfügen. Unter Struktur wird sonach die auf Grund innerer Vorgänge entstehende Form und Begrenzung der Gemengteile eines Gesteins verstanden, wie glasig oder körnig. Dagegen bezeichnet Textur die durch äußere Ursachen bedingte Anordnung und Verteilung der Gemengteile des Gesteins, wie etwa: fluidale Textur.

Wird es in der Mineralogie also bereits schwer, beide Begriffe scharf getrennt zu kennzeichnen, so wird ihre Festlegung bei Hinzuziehung anderer Gesichtspunkte in der Bodenkunde noch schwieriger, zumal, wie erwähnt, die Dispersität des gleichen Bodens wie die gegenseitige Lagerung seiner Teile wechseln können. Da die Erfolge

z. B. auch der kolloidchemischen Forschung wesentlich dem Umstand zu verdanken sind, daß möglichst gleichartige Kolloidsysteme zur Untersuchung gelangten, so ist es wiederum erklärlich, daß bei kolloidchemischen Untersuchungen des Bodens vielfach nicht voll zufriedenstellende Ergebnisse erzielt wurden, ist doch der Boden keineswegs ein irgendwie gleichartiges System. Es wird daher bei der Erforschung des Bodens entsprechend zu verfahren sein wie bei den einzelnen vorher erwähnten Forschungen, nämlich indem man von möglichst gleichartigen Systemen auszugehen versucht, deren Bestandteile bekannt und nach Ermessen zu verändern sind. Das habe ich zum Teil in meiner nachfolgenden Untersuchung auch ausgeführt.

Bei meinen Versuchen über Krümelgröße und Krümelart war ich mir darüber im Klaren, daß ich mein Ziel vermutlich kaum teilweise erreichen könnte. Eine Versuchsmethodik war, abgesehen von der sehr groben „Schollenanalyse" Puchners und der „Aggregatanalyse" Tjulins, kaum vorhanden, ebensowenig anderweitige Vorarbeiten. Es kommt hinzu, daß es jedenfalls deutschen Wissenschaftlern heutzutage meist versagt ist, größere Anschaffungen auf dem Gebiete der Arbeitshilfsmittel in Aussicht zu nehmen. Die Notwendigkeit aber, auf einem wirklichen Neuland wenigstens die ersten unsicheren Schritte zu versuchen, hat mich trotz allem zu nachstehend geschilderten Versuchen veranlaßt und dies mag berücksichtigt werden, wenn die Erfolge der angewandten Mühe nicht zu entsprechen vermochten.

I.

Krümelgröße und Krümelart.

a) Untersuchungen an naturfrischen Böden mit Hilfe des Wollmeßprüfungs-Projektionsapparates.

Humoser Lehmboden, wie er hier im Weichbilde der Stadt vorkommt, wurde, ohne ihn etwa lufttrocken zu machen, nach Abgabe der überschüssigen Feuchtigkeit durch ein 2 mm-Sieb getrieben. Um die auf diese Weise erhaltenen Bodenkrümel*) im Licht-

*) Es werden hierbei unter „Bodenkrümel" nicht die groben, dem Auge ohne weiteres sichtbaren Bröckchen, sondern die feinen, durch das Zusammenhalten der einzelnen kleinen und sehr kleinen Bodenteilchen entstandenen Anhäufungen verstanden.[4])

bild festzuhalten, wurde zunächst der Wollmeßprüfungs-Projektionsapparat von Leitz-Wetzlar, und eine 57fache Vergrößerung gewählt.

Bodenkrümel wurden auf mit einer planparallelen Glasplatte bedecktes Negativpapier projiziert. Die Erscheinungen der Krümel auf dem so gewonnenen Bilde sind somit negative Wiedergaben. Es wurde möglichst immer auf die Ränder des einzelnen Krümels eingestellt. Störend wirkte, daß das einzelne Krümel eine Reihe von Strukturebenen besitzt. Infolgedessen konnte nur auf einzelne, günstig liegende Krümel eingestellt werden. Auch das Anfeuchten der Krümel und Bedecken mit einem Deckglas hatte keinen rechten Erfolg. Von zwei gleichartigen Proben wurde eine mit destilliertem Wasser ausgewaschen. Das Filtrat zeigte sich durch die ausgewaschenen Kolloide getrübt. Nach vierzehn Tagen, als die Trübung schwächer wurde, wurde ein Teil des Bodens untersucht, der Rest des Bodens vierzehn Tage weiter ausgewaschen.

Die halbausgewaschenen Bodenkrümel waren vielfach stark zerklüftet und wiesen teilweise Hohlräume auf. Die Ränder zeigten sich scharf gezackt. Das Gesamtbild wies eine „korallenartige" Struktur auf. Noch augenscheinlicher trat dies in Erscheinung bei der Restprobe, die nach weiteren 14 Tagen untersucht wurde. Hierbei zeigten sich die Krümel vollständig zerlegt. Mitunter waren nur noch die mineralischen Bestandteile geblieben, kleine Quarzstückchen, benachbart von kleinen Feldspatteilchen. Vielfach konnte man aus der Lage dieser Bestandteile den früheren Zusammenhang zu einem Krümel feststellen, doch mußten dazu mit der größten Vorsicht die Krümel des Filterrückstandes auf den Objektträger gebracht werden.

Ein Boden, den man nach so lange durchgeführter Auswaschung praktisch für kolloidfrei hält, scheint somit doch noch eine gewisse Menge von Kolloiden zu enthalten, die den mineralischen Bodenbestandteilen den notwendigen Zusammenhalt gewähren, wenn auch nur in äußerst lockerer Form. Ich versuchte vergeblich, diese Unterschiede irgendwie zahlenmäßig zu erfassen. Regelmäßiges Ausmessen auf den Lichtbildern mußte infolge des äußerst unsymmetrischen Aufbaues der Krümel unterbleiben. Die geometrische Methode, wie sie F. Rinne[5]) in seiner Gesteinskunde angibt, hatte nicht den gewünschten Erfolg. Auch die für den ersten Augenblick bestechende Arbeit von W. H. Fry[6]) konnte meine Untersuchungen wenig fördern, da die angegebene Methode zuviel Unklarheiten enthält.

Wenn auch die Untersuchungen mit dem Wollprüfungsapparat den Vorzug hatten, daß das Sehfeld bedeutend größer ist als bei etwaigen mikroskopischen Untersuchungen, so war es wieder ein Nachteil, daß man nur Negative im Lichtbild festhalten konnte. Um dennoch zahlenmäßige Unterschiede zu erreichen, wurde eine Reihe von Versuchen an gekalkten und ungekalkten Böden angestellt. Da die zur Verfügung stehenden Naturböden sich als nicht homogen genug erwiesen, arbeitete ich zunächst ausschließlich mit künstlich hergestellten Böden.

b) Versuche mit künstlich hergestellten Böden.

Zur Herstellung von künstlichen Böden wurde Blauton von Gäbersdorf-Beckern, der fein gemahlen und mit einem 2 mm-Sieb abgesiebt war, sowie feiner Quarzsand (Hohenbockaer Glassand) im Verhältnis:

50% Ton und 50% Sand
60% Ton und 40% Sand
70% Ton und 30% Sand
80% Ton und 20% Sand
90% Ton und 10% Sand benutzt.

Diese Gemische wurden mit destilliertem Wasser versetzt, durchgeknetet, wieder lufttrocken gemacht und schließlich im Mörser fein zerrieben (Korngröße 2 mm und darunter). Von diesen Bodenproben wurde nach gründlicher nochmaliger Durchmischung jeweils die Hälfte entnommen, auf ein Filter gebracht und vorsichtig Calcium-Bikarbonat-Lösung*) zugesetzt. Dies wurde nach jeweiliger Abtrocknung wiederholt. Nach Verlauf einer Woche wurden die Proben vorsichtig vom Filter entfernt und leicht zerdrückt. Von diesen gekalkten wie auch von den ungekalkten Bodenproben wurden sodann kleine Mengen mikroskopisch untersucht. Leider gaben diese Untersuchungen bei 125facher Vergrößerung kein klares Bild; von den einzelnen Bodenproben dürften kaum nennenswerte Mengen von Kalk adsorbiert worden sein. Nun wurden von jeder Bodenprobe 10 g abgewogen, außerdem diesmal auch von Quarzsand, der als Vergleichsobjekt dienen sollte. Diese Mengen wurden auf einzelne Filter gebracht und hier vorsichtig mit 5 ccm Ca-Bikarbonat-Lösung versetzt. Sobald die einzelne Bodenprobe etwas abgetrocknet war, wurde vorsichtig mit einer Pinzette der Boden auf dem Filter aufgelockert, ohne dabei das Filter zu beschädigen. Sobald die Krümel vollständig trocken waren, wurde wieder jeweils 5 ccm Ca-Bikarbonat-Lösung zugesetzt, der Boden vollständig zum Abtrocknen gebracht und gekrümelt. Diese Maßnahme wurde so oft wiederholt, bis jeder Probe 50 ccm Ca-Bikarbonat-Lösung (38 mg $CaCO_3$) zugesetzt waren.

Von der vollständig trockenen, gekrümelten Probe wurde 1 g abgewogen, mit 50 ccm dest. Wasser versetzt und im Schüttelapparat zehn Minuten lang geschüttelt. Ebenso geschah dies mit Proben des nicht gekalkten Bodens. Von der Suspension wurde jeweils ein Tropfen in eine Zeiß-Thoma'sche Zählkammer gebracht und bei 500facher Vergrößerung untersucht. Die Untersuchung dieser in den einzelnen Teilquadraten sich befindenden Bodenteilchen der Suspension wurde in der Weise durchgeführt, daß von jeder Probe drei Untersuchungen gemacht und dabei immer die Teilchen von jeweils 12 Quadraten ausgemessen und ausgezählt wurden.

---

*) Feingepulvertes $CaCO_3$ wurde mit dest. Wasser versetzt (je Liter 1 g) und Kohlensäure bis zur Sättigung eingeleitet. Die so hergestellte Lösung enthielt als Bikarbonat 397 mg CaO auf ein Liter.

Summarisch ergab sich aus den Beobachtungen folgendes Bild:

1 g Boden (künstlich), bestehend aus 70% Ton + 30% Sand + 50 ccm destilliertem oder Kalkwasser.

Durchmesser der Teilchen (μ)	Probe:	I.		II.		III.	
		mit Kalk	ohne Kalk	mit Kalk	ohne Kalk	mit Kalk	ohne Kalk
2,7		90	57	66	61	39	124
5,5		20	17	14	11	29	22
8,3		12	10	13	9	6	8
11,0		8	2	11	8	11	7
13		3	4	2	5	4	3
16		—	1	1	2	1	1
19		4	3	1	4	1	3
22		—	—	—	—	1	—
25		—	1	—	1	—	1
27		—	—	1	—	2	1
30		—	—	—	2	2	—
33		—	2	1	2	—	2
36		—	1	1	—	1	—
38		—	—	—	—	—	—
41		—	—	1	—	1	—
44		—	1	—	1	—	—
47		—	—	—	—	—	1

1 g Boden (künstlich), bestehend aus 50% Ton + 50% Sand + 50 ccm destilliertem oder Kalkwasser.

Durchmesser der Teilchen (μ)	Probe:	I.		II.		III.	
		ohne Kalk	mit Kalk	ohne Kalk	mit Kalk	ohne Kalk	mit Kalk
2,7		31	44	32	57	31	75
5,5		8	10	9	7	7	5
8,3		5	10	8	9	5	6
11,0		3	6	—	3	10	2
13		3	13	6	2	4	5
16		—	—	3	—	2	1
19		1	12	—	3	2	—
22		—	2	—	—	—	4
25		1	1	—	—	—	2
27		—	—	—	1	—	—
30		1	—	—	—	2	2
33		1	2	—	1	1	—
36		1	—	—	1	—	2
38		—	—	—	1	—	—
41		—	—	—	1	—	—
44		—	—	—	1	—	—
47		—	—	—	1	—	—
50		—	—	—	1	—	—

Ähnliche Ergebnisse wurden erhalten bei Untersuchungen an anderen synthetischen Böden. Wir haben es hier wieder offenbar mit mehreren Vorgängen zu tun, deren Erscheinungsformen übereinandergreifen. Innerhalb verhältnismäßig kurzer Schütteldauer von 10 Minuten (bei nur 40 Umdrehungen des Apparates in der Minute) wurde bereits eine gewisse Menge der Bodenteilchen zerschlagen. Vielleicht besteht die Möglichkeit, durch kürzere Schüttelzeit die Verteilung der Gesamtmenge des Bodens günstiger zu beeinflussen. Weiterhin können die bei Zerstörung der Teilchen in Lösung gehende Elektrolyte ihrerseits wieder gewisse, partielle Flockungserscheinungen auslösen, auch ohne daß ein Einfluß des Ca-Bikarbonats in Frage kommen muß.

Zur Klärung dieser Verhältnisse wurde folgender Versuch durchgeführt:

1 g Ton wurde mit 200 ccm destilliertem Wasser im Schüttelapparat 12 Stunden geschüttelt und zwei Tage stehen gelassen, bis hinreichende Klärung eintrat. Die in der überstehenden Trübung befindlichen Teilchen waren durchscheinend dünn, ungegliedert und abgerundet.

Diese nun bei 500 facher Vergrößerung mit der Zeiß-Thoma'schen Zählkammer gemessenen Teilchen waren von folgender Größenordnung:

1. Präparat: 1 Teilchen ist 11,0μ groß,
   1 Teilchen ist 8,3μ groß.
   Die übrigen Teilchen sind alle 2—3μ und darunter groß.
2. Präparat: Alle Teilchen haben einen Durchmesser von 2—3μ und darunter.
3. Präparat: 1 Teilchen ist 13 μ groß,
   1 Teilchen ist 8,3μ groß.
   Alle übrigen Teilchen haben einen Durchmesser von 2—3μ und darunter.

Im Bodensatz dagegen ergab sich:

(Der Einfachheit halber Durchschnittswert der 64 Quadrate)

12	Teilchen	hatten	einen	Durchmesser	von	27 μ
20	"	"	"	"	"	25 "
21	"	"	"	"	"	22 "
29	"	"	"	"	"	19 "
28	"	"	"	"	"	16 "
37	"	"	"	"	"	13 "
42	"	"	"	"	"	11 "
51 (?)	"	"	"	"	"	8,3 "

Die Teilchen von geringerem Durchmesser konnten zahlenmäßig nicht mehr erfaßt werden.

Die größeren Teilchen hatten alle mehr oder weniger eckige Gestalt, dazwischen lagen die kleineren Teilchen, bedeutend mehr abgerundet. Die kleinsten waren rund. Daß es sich bei den größeren Teilchen eckiger Gestalt um unter Einfluß des Wassers und der mechanischen Bewegung der Schüttelmaschine in Zerteilung begriffene Teilchen handelt, ist weiterhin auch daraus zu ersehen, daß noch während der Beobachtung und Auszählung plötzlich mitunter eine Teilung eintrat, wobei die Teilstücke immer eckig waren.

Zwecks Beobachtung der Flockung wurde eine Bodensuspension von einem Gramm Boden, die mit 200 ccm destilliertem Wasser geschüttelt war, nach dem Absitzen mit 100 ccm Ca-Bikarbonat-Lösung (enthaltend 0,038 g $CaCO_3$) versetzt und unter dem Mikroskop bei 500 facher Vergrößerung untersucht. Die Einzelteilchen waren koaguliert, wie auch bei früheren Versuchen mit Ultramarinfarbstoff[7]) [8]). Die Flockungserscheinung, hervorgerufen durch die Einwirkung des Ca-Bikarbonats, trat in der erwünschten Form zahlenmäßig jedenfalls nicht hervor. Störend wirkte einmal die verschiedene Größe der Teilchen, sowie die Erscheinung, daß größere Teilchen unter dem Einfluß des Wassers und der mechanischen Bewegung der Schüttelmaschine in Zerteilung begriffen waren. Rein technisch betrachtet, zeigte es sich, daß Messungen nur ganz exakt durchgeführt werden konnten, wenn die Dicke des Teilchens einige μ betrug. Die Kammer hat zwar eine Höhe von 0,1 mm, doch traten beim Messen Schwierigkeiten ein, wenn die Teilchen zu dick waren. Helfen kann man sich dadurch — da zur Messung der Dicke in Richtung der optischen Achse die Mikrometerschraube dient — daß man die Messung bei gleicher Differenz zwischen der zugehörigen Ablesung der Mikrometerschraube und der vorhergehenden vornimmt unter Berücksichtigung der ganzen Umdrehungen der Schraube[9]). Es werden so immerhin noch Vergleichswerte geschaffen, doch sind sie nur relativ.

Da Schwierigkeiten sich auch bei 125 facher Vergrößerung ergaben, wurden fortan die Bodenteilchen nur noch im trocknen Zustande untersucht.

20 g synthetischer Boden, bestehend aus 50% Ton und 50% Sand, wurden auf ein Filter gebracht und mit Ca-Bikarbonat so versetzt, daß immer nur jeweils mit 5 ccm Ca-Bikarbonatlösung benetzt wurde. Wenn die Krümel abgetrocknet waren, wurden sie wieder aufgelockert. Nach etwa 24 Stunden wurde wieder Ca-Bikarbonat zugegeben. Als bereits über 100 ccm Ca-Bikarbonatlösung zugesetzt war, zeigten sich an der Oberfläche der Krümel Ausblühungen, an denen man unter dem Mikroskop Kristallbildung beobachten konnte. Zur Vergrößerung der Kristallaggregate wurde weiter Ca-Bikarbonatlösung, bis im ganzen 180 ccm zugefügt waren, zugesetzt.

Die Kristalle wurden von den anhaftenden Bodenteilchen abgetrennt und mit einer Kapillare vorsichtig etwas destilliertes Wasser zugesetzt. Es bildeten sich Schlieren, die von dem Kristallaggregat ihren Ausgang nahmen. Bei Zusatz einer 1% igen Essigsäurelösung konnte ich eine Gasblasenentwicklung beobachten. Mit Hilfe des Polarisationsmikroskopes*) waren die Kristalle ausnahmslos als Kalkspatkristalle zu erkennen. Bei Zusatz von äußerst wenig destilliertem Wasser konnte in den Wasserteilchen,

*) Herrn Dr. Stoklossa, Assistenten des hiesigen mineralogischen Institutes, der mich bei den Untersuchungen mit dem Polarisationsmikroskop in liebenswürdiger Weise unterstützte, spreche ich hiermit meinen verbindlichsten Dank aus.

die sich zwischen den einzelnen Kriställchen hochsaugten, weißliche Trübungen beobachtet werden, herrührend entweder von sich entwickelnden Gasblasen oder von mikrokristallinen bezw. amorphen Teilchen, die aufgelöst wurden. War das Wasser ausgekocht, so konnte die Erscheinung nicht wahrgenommen werden; nach Verdunstung des zugesetzten Wassers zeigten sich die Kristalle kaum verändert.

Ein Teil der Ca-Bikarbonatlösung wurde in einer Kristallisierschale bei gewöhnlicher Temperatur zum Eintrocknen gebracht und der Rückstand unter dem Polarisationsmikroskop untersucht mit dem Endergebnis, daß, wie in dem synthetischen Boden, Kalkspatkristalle in gleicher Größe und Anordnung, immer in unregelmäßig geformtem Haufwerk, gefunden wurden. Die gleiche Feststellung wurde gemacht, als CaO im Verhältnis 1 : 760 in derselben Weise wie das Ca-Bikarbonat dem Boden zugesetzt wurde. Nach Zusatz von 100 ccm Lösung konnten auch hier Kalkspat-Kristalle festgestellt werden. Nur waren diese in ihrer Einzelausbildung bedeutend kleiner als die bei Zusetzung von Ca-Bikarbonat erhaltenen.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, daß bei der Einwirkung des Ca-Bikarbonats auf die Bodenkrümel Aufnahme von Kalk ins Innere der Bodenteilchen stattfindet. Ein etwaiger Basenaustausch im Boden ist, um im Sinne von K. K. Gedroiz zu reden, eng verknüpft mit der Tätigkeit der „adsorbierenden Komplexe" des Bodens[10]). Um diesen Fall auszuschalten, wurden einige Versuche mit feingemahlenem Quarzmehl*) angestellt, ähnlich wie bei der Behandlung des synthetischen Bodens. Auch hier kam es nach einiger Zeit bei bedeutend mehr Ca-Bikarbonat und einer viel längeren Zeitspanne zur Ausscheidung von Kalkspatkristallen. Im ganzen wurden zu 20 g Quarzmehl 300 ccm Ca-Bikarbonat zugesetzt, wovon ein Teil durch das locker gelagerte Quarzpulver hindurchlief. Über Flockungswirkung des Ca-Bikarbonats auf Quarzmehl ist bereits viel gearbeitet worden. Ich stellte fest, daß nach eingetretener Flockung es bei weiterem Zusatz von Ca-Bikarbonat zur Bildung von Kalkspatkristallen kommt. Diese treten dann nicht etwa einzeln auf, sondern immer gleich als Konkretionen. Es erfolgt dabei eine lose Anlagerung an die zusammengeflockten Quarzteilchen, welche ebenfalls nur ganz locker zusammengefügt sind.

---

*) Es handelt sich um Quarzmehl Nr. 12, das mir von der Firma Dörentruper Sand- und Tonwerke in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt wurde.

c) Weitere Untersuchungen an natürlichen Böden.

Auf Grund dieser Beobachtungen war nun zu prüfen, ob diese Kalkspatkonkretionen auch im natürlichen Boden auftreten. In einem Garten wurden auf einer unbepflanzten Fläche in der Größe von einem Quadratmeter täglich 2500 ccm gesättigte Lösung von $CaH_2\ (CO_3)_2$ mit Hilfe eines Verteilers besonders vorsichtig ausgesprengt, um eine vollkommen gleichmäßige Verteilung zu erreichen und zu verhindern, daß durch das Aufprallen der Flüssigkeit Krümel zerstört würden. In dieser Weise wurde auf jener Fläche innerhalb 14 Tagen 25 000 ccm Ca-Bikarbonat-Lösung, enthaltend 33,4 g $CaCO_3$, im Monat Mai ausgesprengt. Die Bodenkrümel waren nach 14 Tagen sichtlich gelockert und hingen miteinander nur lose zusammen. Die Fläche war durch eine Unmenge von unter sich unregelmäßig kreuzenden, wellenförmig verlaufenden Rissen zerlegt. Nun wurde die oberste Bodenschicht vorsichtig abgehoben und unter dem Mikroskop untersucht. Wenn auch Kalkspatkonkretionen, wie jene bei künstlichen Böden hervorgerufenen, nicht beobachtet werden konnten, so waren doch an den Außenflächen der Krümel gewisse Ausblühungen festzustellen, die infolge ihrer Kleinheit nicht isoliert werden konnten. Bei Zusatz eines Tropfens 1%iger Essigsäure (mit einer Kapillare) entwickelten sich kleine Glasbläschen. Da der Boden bereits in unbehandeltem Zustande 2,61% $CaCO_3$ als Karbonat enthält, so konnte aus der Wirkung der Essigsäure eine Folgerung freilich nicht gezogen werden. Immerhin zeigten sich in der Ausbildung der Krümel des kalkbehandelten gegenüber dem anderen Boden gewisse Unterschiede.

Derselbe Versuch wurde im August desselben Jahres auf dem Versuchsfelde in Rosenthal wiederholt. Die Fläche wurde in 30 cm Höhe abgedeckt, so daß die Luft unter dem Dach hindurchstreichen konnte. Bereits nach der vierten Gabe des in vorher beschriebener Weise zugesetzten Ca-Bikarbonats kam es zur Ausscheidung von Kalkspatkristallen. Hierauf wurde die Fläche halbiert; auf der einen Hälfte wurde der Boden 5 cm tief umgespatet, auf der anderen Fläche wurde weiter Ca-Bikarbonat zugesetzt. Als die umgespateten Bodenteilchen nach einigen Tagen untersucht wurden, war der Kalkspat verschwunden. Auffallend muß es sein, daß die Abscheidung der Kristalle bereits nach viermaligem Zusetzen der Ca-Bikarbonat-Lösung erfolgte; entspricht doch die so auf diese Weise zugesetzte Kalkmenge nur einer Gabe von 8,14 g $CaCO_3$. Weiterhin war zu beobachten, daß die Abscheidung der Kristalle nicht etwa gleichmäßig erfolgte, obwohl die Lösungen immer peinlichst gleichmäßig verteilt wurden, sondern in unregelmäßigen Abständen, jeweils immer in äußerst wirr zusammengelagerten Haufwerken von Kristallen.

Als denkbar günstigstes Objekt für Prüfung eines Bodens in natürlichem Zustande zeigt sich der Löß*). Es wurden mehrfach Mikrophotogramme von einem karbonathaltigen und einem karbonatfreien Lößboden, beide aus der Gegend von Zedlitz (Kreis Trebnitz) aufgenommen. Karbonathaltiger Löß enthielt 1,72% $CaCO_3$ (bestimmt mit dem Scheibler'schen Kohlensäurebestimmungsapparat), seine Krümel zeigten vielfach gewisse Ausblühungen, die ebenfalls nur als Kalkspat gedeutet werden konnten, und zwar auf Grund ihres ganzen Auftretens, wie es auch gelang, trotz ihrer verschwindenden Kleinheit einige Kristalle zu isolieren und diese im konvergenten, polarisierten Licht zu untersuchen. Es zeigten sich hierbei lediglich Achsenbilder von einachsigen (inaktiven) Kristallen. Die Kristalle schieden sich niemals in den Vertiefungen der einzelnen Krümel ab, sondern immer an der exponiertesten Stelle des Krümels. Da ein Krümel schon an sich ein unregelmäßig gestaltetes Haufwerk von Einzelteilchen bildet, so wird die Gestaltung des Krümels durch die Abscheidung noch unregelmäßiger. So mag auch die Bröcklichkeit und Lockerheit, aber auch wieder ein gewisses Sich-ineinander-Verketten durch die Kristallbildung begünstigt werden.

Ein karbonatfreier Lößboden ist gegenüber dem vorher angeführten bedeutend mehr verlehmt. In diesem Boden waren zwar keine Kalkkonkretionen wahrzunehmen, dafür zeigten die Krümel eine auffallend geschichtete Lagerung. Auch sind die Krümel in sehr viel weniger lockerem Zusammenhang aufgebaut als diejenigen des vorher beschriebenen Lößbodens.

Ein äußerst fesselndes Bild bot ein Boden aus dem „Breslauer-Schwarzerde-Gebiet" (Boguslawitz). Hier waren mit bloßem Auge bereits an zwei nebeneinanderliegenden Schlägen, der eine gekalkt, der andere ungekalkt, deutlich Unterschiede in bezug auf Festigkeit der Krümel zu bemerken. Ferner konnten auch hier dieselben Ausblühungen beobachtet werden wie bei dem vorher erwähnten Lößboden. Sonderbarerweise traten dieselben auf dem ungekalkten Felde stärker hervor als auf dem gekalkten. Es ist das vielleicht darauf zurückzuführen, daß der ungekalkte Boden ohne Vegetation und daher an der Oberfläche austrocknendem Winde mehr preisgegeben war, der gekalkte dagegen durch die junge Weizensaat schon etwas beschattet wurde.

---

*) Lößboden ist infolge seiner Entstehung durch Windwirkung von sehr einheitlicher Korngröße. Partikel über 0,05 mm Durchmesser sind nur in wenigen (2—4%) Prozenten vorhanden, der Hauptbestandteil (über 90%) besteht aus Körnern von einem Durchmesser von weniger als 0,01 mm. Gröberer und feinerer Staubsand hat an der Zusammensetzung des Bodens etwa zu gleichen Mengen Anteil.

Die erwähnten Unterschiede in der Festigkeit zeigten sich insofern rein äußerlich, als die Ackerschollen des ungekalkten Feldes bedeutend härter waren als die des gekalkten. Auf dem ungekalkten Feld hatte man bereits Rüben bestellt. Trotz Walzarbeit zeigten sich immer noch eine Menge großer Schollen. Das gekalkte war im vorhergehenden Jahr mit Rüben bestellt gewesen, auf dem ungekalkten Feld folgten die Rüben auf Halmfrucht. Bei im November 1927 entnommenen Bodenproben waren Unterschiede durch Kalkung noch nicht wahrzunehmen, während bei den Bodenproben, die im März 1928 von denselben Schlägen genommen wurden, solche schon rein äußerlich in Erscheinung traten.

Sehr wichtig ist hierbei noch, daß keineswegs große Kalkgaben gegeben wurden, es erhielt der gekalkte Plan lediglich 2 Doppelzentner Branntkalk je ¼ Hektar. Bei der intensiven Wirtschaft dieses Betriebes wird die Kalkung freilich öfters wiederholt, als es sonst üblich ist, also mindestens alle 4 Jahre. Da weiterhin eine Fruchtfolge nicht genau innegehalten wird, besteht die Möglichkeit, daß auf einzelnen Plänen die Zeitspanne von einer Kalkung zur anderen noch kürzer ist.

Dies ist weiterhin noch insofern erstaunlich, als mikroskopische Untersuchungen von gekalkten und ungekalkten Böden, die Versuchsparzellen in Rostersdorf und Wersingawe entnommen waren und bedeutend größere Mengen an Branntkalk enthielten, keine Unterschiede zeigten. In Rostersdorf entsprach die gegebene Menge einer Gabe von 22½ Ztr. Branntkalk pro ¼ ha, in Wersingawe einer Gabe von 42 Ztr. pro ¼ ha. Vielleicht war bei der Entnahme des Bodens damals noch nicht die Umsetzungsfrist beendet. Gegeben wurde der Kalk damals im September und bereits Ende Oktober wurden die Bodenproben den Feldern entnommen. Vielleicht war das zu früh.

Zusammenfassend kann über diese vorhergehenden Untersuchungen gesagt werden, daß Unterschiede in der Krümelung nicht gefunden wurden, solange in überschüssigem destillierten Wasser untersucht wurde. Bei der vorgenommenen Teilchenausmessung war auch kein klares Ergebnis zu erhalten. Erst die weiteren Untersuchungen der Krümel in trockenem Zustande unter dem Mikroskop bei Wahrung der peinlichsten Sorgfalt, möglichst wenig einschneidende Veränderungen an dem Bodengefüge vorzunehmen, führten zu einem gewissen Erfolg.

Wesentlich war hierbei immer, einmal ein möglichst großes Sehfeld zu erhalten, sowie eine möglichst große Tiefenschärfe zu erreichen, um die Teilchen plastisch sehen zu können.

Bei mittlerer und starker Vergrößerung läßt sich zwar die Tiefenschärfe dadurch steigern, daß man eine kleinere Apertur anwendet. Weiterhin ist aber von Bedeutung, daß die Helligkeit des mikroskopischen Bildes, die auch von der numerischen Apertur und der Gesamtvergrößerung abhängig ist, durch keine Zusammenstellung optischer Systeme größer werden kann, als die maximale Helligkeit des beobachteten Gegenstandes. Um möglichst gute Tiefenschärfe zu erhalten, ist man somit auf gerade noch ausreichende Vergrößerung und Beschränkung der numerischen Apertur angewiesen.

II.

Ermittelung der Zusammenhaltskraft der Bodenkrümel innerhalb des Bodens.

Daß die Krümel in sich schon eine gewisse Festigkeit besitzen, ist, wie bereits erwähnt, von Ehrenberg und van Zyl[11]) festgestellt worden. Puchner[12]) hat einmal versucht, in bezug auf Bearbeitung des Bodens eine Methode auszuarbeiten. Er bezeichnete die zusammengebackenen Bodenteilchen von unter 20 mm Durchmesser mit „Krümeln", diejenigen, die durch das 40 mm-Sieb gingen, aber auf dem 20 mm-Sieb zurückblieben, mit „Brocken", und diejenigen, die auch auf dem 40 mm-Sieb zurückblieben, als „Klumpen". Daß diese größeren Aggregate der verschiedensten Böden bei Behandlung mit größeren Wassermengen sich höchst unterschiedlich verhalten, erwähnt bereits Mitscherlich[13]), wonach bei dem einen Boden ein viel häufigeres Untertauchen unter Wasser notwendig sei, um die größeren Aggregate zum Zerfall zu bringen, als bei einem anderen. P. Vageler[14]) schlägt darum vor, den Boden durch ein Maschensieb abzuschlämmen. Dieser Gedanke ist nun neuerdings wieder von A. F. Tjulin[15]) aufgegriffen worden, der auf solchem Wege eine Bestimmung der „wirklichen Bodenstruktur" durchführt. Er trifft bei seiner „Aggregatanalyse", eine hochwichtige Differenzierung unter den Aggregaten des Bodens, indem er mit Aggregaten 1. Ordnung diejenigen bezeichnet, die bedingt sind durch irreversible koagulierte Gele, dagegen unter Aggregaten 2. Ordnung jene versteht, die entstanden sind durch reversible koagulierte Gele. Den Koagulationszustand von Aggregaten 1. Ordnung nennt er wahre Struktur. Diesen Anteil an Aggregaten 1. Ordnung stellt er unter Berücksichtigung der Einflüsse von Klima und Bearbeitung fest. Die Methode sei nachfolgend kurz beschrieben:

10 g Boden werden auf ein mit einer Filtrierpapierscheibe bedecktes Sieb gebracht und dieses dann so ins Wasser gestellt, daß das Filtrierpapier von unten gerade noch benetzt wird. Nach 30 Minuten wird der benetzte Boden dann übergeführt auf ein 1 mm-Sieb, dieses steht auf einem 0,2 mm-Sieb. Nun werden die Siebe mit dem Boden 30 mal in Wasser untergetaucht. Die Bodenrückstände der beiden Siebe werden darauf getrennt im Trockenschrank bei 105 Grad getrocknet. Jener Bodenanteil, der durch das 0,2 mm-Sieb hindurchging, wird weiter analysiert nach G. W. Robinson auf Teilchen = 0,05 mm.

Inwieweit diese Methode für verschiedene Bodentypen Gültigkeit erlangen wird, bedarf noch eingehender Untersuchung.

Eine Übersicht über die bisherigen Untersuchungena der Festigkeit des Bodens führen A. Atterberg[16]) und C. Marquis [17]) in ihren Berichten an. Es wird darin scharf unterschieden die relative Festigkeit gegen Bruch von der rückwirkenden Festigkeit gegen Zerdrücken. Letztere wird in der Bodenkunde vielfach auch als absolute Festigkeit bezeichnet, während man in der technischen Mechanik unter absoluter Festigkeit den Widerstand gegen Zerreißen versteht. Theoretisch betrachtet, muß es am einwandfreiesten erscheinen, den Boden auf Zerreißfestigkeit zu prüfen, da man hierbei am sichersten die Kraft ermitteln würde, die bestrebt ist, die Bodenteilchen zusammenzufassen und -halten.

Bei der weiterhin angewandten Methode der Ermittelung des Trennungswiderstandes, den der Boden dem Eindringen eines festen Körpers entgegenstellt, kommen leicht große Abweichungen vor, wie bereits H. Puchner[18]) festgestellt hat. Auch A. Atterbergs[19]) nach gleichem System aufgebaute Methode zeigt dies[20]).

Ungünstig ist auch die Ermittelung der relativen Festigkeit. Diese hat bei der Bodenbearbeitung wenig Bedeutung und die Apparate zu ihrer Bestimmung sind mangelhaft[21]). Die rückwirkende Festigkeit gegen Druck (fälschlich absolute genannt), die am besten bei der Kohäsezenzbestimmung ermittelt werden kann, ist nach zwei Verfahren festzustellen:

1. Fr. Haberlandt[22]) [23]) stellte als Erster Erdzylinder von 2 cm Durchmesser und 3 cm Höhe her und zerdrückte sie in verschiedenen Stadien ihres Feuchtigkeitsgehaltes durch Belastung einer aufgelegten Preßplatte.

2. Die Methode von J. Hazard[24]) knetete 30 g Boden in angefeuchtetem Zustande zu einem Teig, formte eine Kugel, die in trockenem Zustande unter eine Ecke eines gleichseitigen Dreiecks aus Holz gelegt und dann belastet wird, bis die Erdkugel birst.

Puchner baute das Haberlandt'sche Verfahren weiter aus. Zwar benutzte er anfangs mehr einen Apparat zur Messung des Widerstandes, den der Boden dem Eindringen eines keilförmigen Körpers entgegensetzt, später aber einen eigens konstruierten Preßapparat[25]).

C. Marquis[17]) fand, daß auch bei geringerer Wassermenge Bodensubstanz in das Anfeuchtungswasser übertritt. Dann sei eine beträchtliche Kraftanstrengung notwendig, um die Bodenzylinder nach gleichmäßiger Durchfeuchtung aus der Messingröhre auszustoßen.

Weiter würde, wie auch Puchner selbst zugibt, der beim Herauspressen der Säule entstehende hohe Druck nicht ohne Einfluß auf die Dichtigkeit der Lagerung innerhalb der Bodensäule bleiben. Dazu zeigen sich andere Bedenken.

Puchner hat sich dann in sofern geholfen, als er 10 Einzelbestimmungen machte, die extrem niederen Werte ausschaltete und aus den übrigen, die noch eine Abweichung von 20—30% zeigten, das arithmetische Mittel zog. Wenn auch die auffallend niederen Zahlen leicht durch Fehler im Zylinder zu erklären sind, so muß aber auch von den extrem hohen Werten dasselbe gelten. Marquis schaltete entsprechend auch alle extrem hohen Werte aus. Ebenso verfährt Atterberg, er sagt, „schlecht stimmende Ziffern werden kassiert und es wird eine Mittelzahl aus den besser stimenden Ziffern gezogen".

Für Atterbergs Methode ist charakteristisch, daß als Maßstab der Festigkeit eines Bodens die Festigkeit gilt, die ein mit kleinstmöglicher Menge Wasser bereiteter und dann geformter Bodenteig nach dem Trocknen bei 100 Grad besitzt, ausgedrückt in kg. Dabei gilt als kleinste zur Bereitung der Probekörper mögliche Wassermenge diejenige, die mit 3 Einheiten den Wert der „Ausrollgrenze" oder, falls diese nicht vorhanden, den der „Fließgrenze" übersteigt. Die Wassermenge muß also einmal so groß sein, daß ein Formen möglich ist, andererseits darf sie auch nicht größer sein, da sie sonst Einfluß auf die Festigkeit des geformten Bodens ausübt. Marquis, der auch nach dieser Methode gearbeitet hat, beobachtete, daß man bei schweren Böden und Tonen die vorgeschriebene Zahl allerdings oft um mehrere Einheiten überschreiten muß, wogegen bei Sanden und sandigen Lehmen manchmal schon eine dem Werte der Ausrollgrenze oder Fließgrenze entsprechende Menge genügt.

Marquis gibt zwar an, daß die Einzelwerte seiner nach Atterberg untersuchten Böden eine bedeutend bessere Übereinstimmung aufweisen, als die nach Methode Puchner. Doch scheint die Methode Atterberg vor der von Puchner nichts voraus zu haben. Denn wie Puchner vorschreibt, gar zu sehr streuende Werte unberücksichtigt zu lassen, so gibt auch A. Atterberg an, „schlecht stimmende Ziffern werden kassiert und es wird das Mittel aus den besser stimmenden Ziffern gezogen".

Bei Atterberg wird weiter der Boden verhältnismäßig hohen Temperaturen ausgesetzt, wodurch der kolloide Anteil desselben mehr oder

weniger tiefgreifende Veränderungen erleiden kann. Auch ist bei der Zubereitung der Druckkörper der allzu große manuelle Einfluß auf die Lagerung der Bodenteilchen nicht von der Hand zu weisen. Atterberg gibt zwar an, daß die „Parallelstruktur" immer winkelrecht gegen die Richtung des Druckes im Teig verlaufen muß, wie auch, daß immer in derselben Richtung gespalten werden muß, wie gefüllt wurde, wobei die Seite des Prismas, die beim Formen nach oben gerichtet war, auch beim Spalten stets nach oben gewendet sein muß.

Es wird indes besser sein, ein Verfahren in Anwendung zu bringen, das Angriffspunkte manuellen Einflusses wie auch der Temperatur von vornherein ausschaltet.

Die Berücksichtigung des Schwindens seiner Probekörper und Atterbergs Korrektion der Festigkeitszahl, die sogar zweimal vorzunehmen ist[26]), wirkt sich in Anbetracht der großen Streuweite der Einzelwerte garnicht entsprechend aus. Solange nicht alle Faktoren gefunden sind, welche die gewaltige Streuung bedingen, solange wird die Schwindungsberechnung in angeführter Weise ohne Einfluß bleiben, obwohl sie theoretisch richtig ist.

Wie Puchner veränderte H. Zander[27]) bei seinen Untersuchungen den Wassergehalt und stellte dabei zum Beispiel fest:

Bodenbehandlung	Wirkung
Boden — trocken	Große Reibung an der Oberfläche der einzelnen Bodenkörner (des Spatens). Die zu leistende Arbeit ist groß.
Steigerung des Wassergehaltes	Wirkung: reibungsvermindernd. Arbeit wird geringer.
	Zunächst weiterhin arbeitsvermindernd.
	Grenze der arbeitsvermindernden Wirkung. Gesamtoberfläche des Bodens ist benetzt bis zu der hygroskopisch gebundenen Wassermenge.
	Zwischen den festen Bodenteilchen tritt Meniskenbildung ein. Kohärenz des Bodens als Folge der Adhäsion des Wassers zu den Bodenteilchen wird größer; Adhäsion am Spaten wächst auch. Arbeit wird größer.
	Grenze der Arbeitssteigerung. Soviel Wasser ist nun vorhanden, als im Optimum der Meniskenbildung bei betreffenden Hohlraumvolumen gehalten werden kann.
	Die festen Bodenteilchen beginnen sich voneinander zu trennen. Kohärenz verringert sich. Arbeit verringert sich.
	Das Wasser, das durch die Meniskenbildung nicht mehr gehalten werden kann, fließt ab; es füllen sich allmählich sämtliche Hohlräume aus. Weitere Wassermengen üben keinen Einfluß auf die zu leistende Arbeit aus.

Leider hat Zander mehrfach mit nur sehr wenig Parallelen gearbeitet, so daß die von ihm aufgestellte Beziehung zwischen Feuchtigkeitsgehalt von Bodenkörpern und deren Festigkeit noch nicht hinreichend geklärt erscheint.

Über andere Faktoren, die neben dem Feuchtigkeitsgehalt Einfluß auf die Bodenfestigkeit ausüben, hat bereits Puchner berichtet. In letzter Zeit erst haben in dieser Hinsicht H. N. Sokolowski und E. S. Lukaschewitsch[28]) Druckfestigkeitsuntersuchungen vorgenommen, und zwar mit Boden, dessen Adsorptionskapazität mit Na+, NH_4+, H+, Ca++, Mg++ und Fe+++ gesättigt war.

Da es nicht möglich war, diese Gesamtarbeit einmal einzusehen, mußte ich mich nur auf ein kurzes Referat beschränken. Es ist daraus zu ersehen, daß Sokolowski und Lukaschewitsch bei den verschiedenen Probezylindern von jeweils 3 cm Höhe die Geschwindigkeit des Kapillaraufstiegs des Wassers prüften. Bei Böden, deren Adsorptionskapazität mit Na+ gesättigt war, dauerte der Wasseraufstieg an den von ihnen hergestellten Probezylindern 1 Monat, mit H+ nur 2 Minuten, bei der Normalprobe (unbehandelter Boden) dagegen 3,5 Minuten. Sie trockneten dann die Bodenkörper auf verschiedene Weise und fanden beim Zerdrücken mit dem Williams'schen Apparat (eine Abart des von Atterberg benutzten Apparates) die Festigkeit der bei 100 Grad C getrockneten normalen Bodenproben zweimal geringer als die der bei gewöhnlicher Temperatur behandelten. Aus den Untersuchungen hat sich schließlich ergeben, was bereits Puchner eingehend in seinen Arbeiten dargelegt hat, daß die im Boden adsorbierten Basen verschiedene Wirkungen auf die Bodeneigenschaften ausüben.

Auch meine Untersuchungen wurden nach dieser Richtung hin an Böden und Tonen, die durch Basenaustausch mit bestimmten Basen angereichert waren, durchgeführt, bei möglichster Ausschaltung all der Mißstände, die in früheren Arbeiten ähnlicher Art beobachtet wurden.

Von Tonen wurden herangezogen der Naturhafenton aus der Gegend von Großalmenrode[29]), sowie der Gäbersdorfer Blauton[30]). Die drei benutzten Bodensorten waren karbonatfrei*). Eine aus dem sogenannten „Schwarzerdegebiet" ist ein stark humoser Boden, der aber zugleich große Mengen Sandteilchen besitzt. Der andere aus der Flur von Wersingawe (Kreis Wohlau) gehört zu den sogenannten Geschiebelehmböden und enthielt neben viel gröberen Bestandteilen auch etwas Humus. Der dritte Boden, aus Rostersdorf (Kreis Steinau), ist ein schwerer Lehmboden, der genetisch wohl zu den Auelehmböden gerechnet werden muß; der Anteil an feinsten Bodenteilchen ist sehr groß.

Diese Tone und Böden wurden dem Basenaustausch unterworfen.

---

*) Die Böden wurden auf Karbonatgehalt mit dem Scheibler'schen Kohlensäurebestimmungsapparat geprüft.

a) Basenaustauschversuche.

Zwecks Prüfung des für größere Bodenmengen zweckmäßigen Verfahrens wurden die Böden zunächst mit n/1 NaCl-Lösung behandelt. 1000 g Boden wurden mit einem Liter NaCl-Normallösung versetzt; nach 6 Tagen hatte sich der Boden hinreichend abgesetzt, sodaß die überstehende Lösung klar war. Sie wurde abgehebert und der Boden wurde von neuem mit n/1 NaCl-Lösung versetzt. Die überstehende Lösung wurde sodann auf Ca++ geprüft.

1000 g Boden wurden ferner quantitativ auf einen geräumigen Trichter übergespült und bei der Weiterbehandlung nach K. K. Gedroiz[31]) mit einer Filtrierpapierscheibe bedeckt, die mit einigen Glasstücken beschwert das Aufschwimmen der Bodenteilchen verhinderte. So war es möglich, die Lösung stets in solcher Menge zuzusetzen, daß der Boden immer von einer etwa 1 cm tiefen Schicht der Flüssigkeit bedeckt war. So wurde durch die in einer Hinsicht zeitsparende Maßnahme zugleich auch ein gleichmäßiges Durchlaufen der Lösung erreicht. Durch regulierbaren Zufluß von einem Sammelbehälter aus floß jeder Bodenprobe auf dem Trichter gleichmäßig n/1 NaCl-Lösung Tag und Nacht zu. Nach einigen Tagen wurden die einzelnen Filtrate auf Ca++ geprüft. Die Zuführung war so geregelt, daß innerhalb 24 Stunden 5 Liter n/1 NaCl-Lösung den einzelnen Boden durchsickerten. Sehr bald trat auf dem Trichter ein Durchschlämmen der Kolloide ein, ihm folgte Dichtschlämmen des Erdreichs. Nach 40 Tagen war jeder Boden mit 45 Liter n/1 NaCl-Lösung behandelt. Da immer noch im Filtrate Ca++ nachzuweisen war, wurde diese als die bessere bezeichnete Versuchsanordnung abgebrochen, obwohl sie von K. K. Gedroiz und anderen[32]) angewendet wird.

Es wurde sodann nach dem erstgenannten Verfahren weiter, aber nunmehr nur mit je 500 g Boden, gearbeitet.

Obwohl Gedroiz angibt, daß der Austauschprozeß sein Ende erreicht hat, wenn man in der überstehenden Lösung, bezw. im Filtrat (bei der zweiten Methode) kein Ca++ mehr nachzuweisen ist, war es mir nicht möglich, diesen Punkt zu erreichen; Spuren von Ca++ waren immer vorhanden. Daß Gedroiz diese Spuren nicht fand, ist wohl darauf zurückzuführen, daß er nur kleine Bodenmengen nahm, so daß diese Spuren praktisch nicht in Erscheinung traten. A. B. Cumins und W. P. Kelley[33]) konnten ja auch feststellen, daß die Gesamtheit der ausgetauschten Ionen eine Exponentialfunktion der Konzentration der in Lösung verbleibenden Na-Salze ist. Sie stellten eine Gleichung auf, welche die Beziehung zwischen dem festgelegten Na+ und der Konzentration des NaCl in der Lösung bei Gleichgewicht ausdrücken soll, und in gewissem Umfange mit dem allgemeinen Typ der Freundlich'schen Adsorptionskurven und -gleichungen übereinstimmen.

Entsprechend dieser Feststellungen wurden bei den Austauschversuchen nur solange ausgetauscht, bis der Zeitpunkt erreicht war, von dem ab, um im Sinne der Freundlich'schen Adsorptionsisotherme zu reden, die Adsorptionskurve asymptotisch verläuft. Dies war, praktisch betrachtet, der Fall, wenn die 500 g Boden mit 20 Liter n/1-Salzlösung behandelt waren. Ich verfahre also derart, daß 500 g Boden bzw. Ton in einem Sedimentiergefäß mit einem Liter n/1-Chloridsalzlösung versetzt werden. Das Ganze rührt man

tüchtig um und läßt es sechs Tage stehen, damit der Boden sich scharf von der Lösung absetzt. Die klare Lösung wird abgehebert, durch einen Liter der gleichen n/1-Chloridsalzlösung ersetzt und wie vorher umgerührt. Gegen Ende der Versuchsdurchführung trat vielfach das Absetzen schon nach dem dritten Tage ein. So wurde jeder Boden bzw. Ton mit jeweils 20 Liter n/1-Chloridsalzlösung behandelt.

Ausgetauscht wurde mit: NaCl
KCl
NH_4Cl

$BaCl_2$
$MgCl_2$
$CaCl_2$

HCl*)

Mit 3wertigen Chloriden $FeCl_3$ und ACl_3 wurden nur Untersuchungen über etwaige Austauschmöglichkeit angestellt.

Um sich über die Austauschvorgänge zu vergewisseren, wurde jeweils die überstehende Lösung auf Ca++ untersucht. Bei Prüfung der überstehenden Lösungen der mit n/1 NaCl, KCl und NH_4Cl behandelten Böden konnten folgende Beobachtungen gemacht werden:

Überstehende Austauschlösung:	Großalmerode	Gäbersdorf
n/1 NaCl	Niederschlag von $Fe(OH)_2$	kein Niederschlag
KCl	Niederschlag von $Fe(OH)_2$	kein Niederschlag
NH_4Cl	Niederschlag von $Fe(OH)_2$	Niederschlag von $Fe(OH)_3$ (Spuren)

Überstehende Austauschlösung:	Boguslawitz	Rostersdorf	Wersingawe
n/1 NaCl	Spuren	schwärzlich, voluminöser Niederschlag	
KCl	kein Niederschlag	schwärzlich, voluminöser Niederschlag	
NH_4Cl	kein Niederschlag	kein Niederschlag	

*) nur mit 0,04n-Lösung.

Das bei Ton von Großalmerode in Lösung gegangene 2wertige Eisen ist darauf zurückzuführen, daß es sich hierbei um einen Ton handelt, der im Laufe geologischer Vergangenheit Schwefeleisen aufgenommen hat. Der schwärzlich, voluminöse Niederschlag bei Rostersdorf und Wersingawe wurde in HCl gelöst, zunächst mit Rhodankali ergebnislos auf Fe++ geprüft, der Humusanteil sodann mit Perhydrol (H_2O_2) zerstört. Beim Eindampfen der klar gewordenen Lösung blieb ein schmutzigbrauner Rückstand zurück, der nun geglüht und aufgeschlossen mit Rhodankali auf Fe+++, das bei dem Austauschprozeß in Lösung gegangen war, reagierte. Das Eisen war zuerst, durch Humuskolloide geschützt, nicht nachzuweisen gewesen. Über dies eigenartige Verhalten des Ferrihydrates gegen humose Stoffe, unter deren Einfluß es kolloid in Lösung geht, hat schon van Bemmelen berichtet, wie auch späterhin Ramann[34]).

Bei der Behandlung mit 2wertigen Kationen ist für keinen Boden oder Ton eine Ammoniakfällung in der Austauschlösung erfolgt. Nach erstmaliger Behandlung mit 0,04n HCl zeigten die Erdproben Reaktion auf Al+++. Doch schwand diese sehr bald, nach mehrmaliger Behandlung der Böden und Tone mit 0,04n-Lösung; dafür reagierten die Lösungen nun stark auf Fe++. K. K. Gedroiz versichert, daß eine HCl-Lösung in der Konzentration von 0,05n den Boden keineswegs nachteilig beeinflußt, d. h. nicht irgendwelche adsorbierende Komplexe zerstört. Ich arbeitete mit einer HCl-Lösung in der Konzentration 0,04n, da nach Versuchen von J. S. Joffe und H. C. Mc. Lean[35]) die Wirkung dieser schwachen Säure einer 1-normalen NH_4Cl-Lösung gleich sein soll.

Nur konnte hierbei in viel kürzerer Zeit mit der Lösung gewechselt werden, da die Böden sich jetzt bedeutend schneller absetzten als die mit Salzlösung behandelten. Nach jeweils 8 Stunden wurde die Lösung gewechselt. Nach 25maligem Austausch konnte festgestellt werden, daß bei den drei Böden in der überstehenden Lösung keine Spuren von Ca++ mehr nachzuweisen waren, wohl aber in den überstehenden Lösungen der gleichbehandelten Tone. Um sich zu vergewissern, wurden die Böden wie die Tone noch zwei weitere Male in der üblichen Weise mit 0,04n HCl behandelt, ohne daß eine Änderung im Verhalten der überstehenden Lösungen eingetreten wäre.

Von dem mit 0,04n HCl ausgetauschten Rostersdorfer Boden, dessen überstehende Lösung keine Ca-Reaktion zeigte, wurde ein kleiner Teil ausgewaschen, bis er von Cl-Ionen frei war. Sodann wurde dieser mit n/1 KCl versetzt. Die überstehende Lösung zeigte deutlichen Ca-Niederschlag, als sie mit Ammonoxalat geprüft wurde.

Wenn die Freundlich'sche Adsorptionsisotherme für den Austausch gilt, und der Fall eingetreten ist, daß fast alles im Komplex adsorbierte Ca++ gegen H+ ausgetauscht ist, die Kurve also bereits asymptotisch verläuft, dürften auf keinen Fall bei Zusatz von KCl-n-Lösung noch K-Ionen in den Komplex gegen Ca-Ionen eingetauscht werden, da doch der Vorrat an letzteren durch den H-Ionen-Austausch bereits erschöpft ist. Es besteht vielleicht insofern die Möglichkeit, den Vorgang zu erklären, daß für den Austausch die H-Ionen-Konzentration maßgebend ist, wie ja auch K. K. Gedroiz annimmt. Wenn der Basenaustausch mit 0,04n HCl bei einer bestimmten H-Ionen-Konzentration beendet ist, so kann ein Austausch nachher mit K-Ionen doch noch stattfinden, da jene Konzentration bei Zusatz einer n/KCl-Lösung eine andere ist. Vielleicht

besteht die Annahme Gedroiz' zu Recht, wonach um die Bodenteilchen, die adsorbierten Wasserstoff enthalten, bei Behandlung des Bodens mit einem neutralen Clorid infolge des Austausches HCl in hoher Konzentration entsteht; diese zerstört dann die Aluminosilikatverbindungen, wobei sogar Al+++ gelöst wird.

Die überstehende Lösung zeigte bei den einzelnen Böden während und nach der Behandlung mit den verschiedenen Salzlösungen ein sehr verschiedenes Verhalten.

Veränderung der überstehenden Lösung:

	Großalmerode 500 g	Gäbersdorf 500 g	Boguslawitz 500 g	Rostersdorf 500 g	Wersingawe 500 g
bei Behandlung mit jeweils 1 Liter: (der 20. Liter)					
n/1 NaCl	trübe	trübe	trübe	trübe	trübe
„ KCl	trübe	trübe	trübe	trübe	trübe
„ NH_4Cl	trübe	trübe	trübe	trübe	trübe
„ $BaCl_2$	trübe	trübe	trübe	trübe	trübe
„ $CaCl_2$	klar	klar	klar	klar	klar
„ $MgCl_2$	trübe-weißlich	fast klar gelbl. schillernd	trübe-weißlich	trübe-weißlich	trübe-weißlich
0,04n HCl	klar	klar	klar	klar	klar
bei der Auswaschung mit destilliertem Wasser: bei Zusatz des 1. Liters nach Austausch mit					
n/1 NaCl	klar	klar	gelblich-trübe	klar gelbliche Färbung	klar
„ KCl	klar	klar	trübe	trübe	trübe
„ NH_4Cl	klar	klar	klar	klar	klar
„ $BaCl_2$	klar	klar	trübe	klar	trübe
„ $CaCl_2$	klar	klar	klar	klar	klar
„ $MgCl_2$	klar	klar	trübe	klar	klar
0,04n HCl	klar	klar	klar	klar	klar
nach dreimaligem Auswaschen mit destilliertem Wasser: nach Austausch mit					
n/1 NaCl	klar	klar	gelbbraun opalisierend	trübe	trübe
„ KCl	klar	klar	dunkelbraunrote Lösung opalisierend	trübe	trübe
„ NH_4Cl	klar	klar	trübe	klar	trübe
„ $BaCl_2$	klar	klar	trübe	klar	trübe
„ $CaCl_2$	klar	klar	klar	klar	klar
„ $MgCl_2$	klar	klar	trübe	klar	trübe
0,04n HCl	klar	klar	trübe	trübe	trübe

Veränderung der überstehenden Lösung nach 6 maligem Auswaschen mit destilliertem Wasser:

nach Behandlung ausgetauscht mit:		Großalmerode 500 g	Gäbersdorf 500 g	Boguslawitz 500 g	Rostersdorf 500 g	Wersingawe 500 g
n/1	NaCl	klar	klar	gelbbraun	hellgelb	hellgelb
„	KCl	klar	klar	braunrot	opalisierend farblos	rotgelb
„	NH_4Cl	farblos opalisierend	farblos klar	dunkelgelb opalisierend	opalisierend farblos klar	farblos schwach-opalisierend
„	$BaCl_2$	klar	klar	trübe	klar	trübe
„	$CaCl_2$	klar	klar	klar	klar	klar
„	$MgCl_2$	farblos	farblos	gelblichtrübe	farblos	farblos klar
0,04n	HCl	klar	klar	opalisierend trübe	trübe	trübe

Sobald die überstehende Lösung stark opalisierte, wurde nicht weiter ausgewaschen, bestand doch dabei die Gefahr, daß man den Boden bzw. den Ton zu sehr von kolloider Substanz entblößte. Andererseits wies aber jeweils die überstehende Lösung einen derartigen hohen Gehalt an Cl-Jonen auf, daß irgendwelche Maßnahmen getroffen werden mußten, diese zu entfernen.

Sämtliche Böden und Tone mit Ausnahme der Tone, die mit 0,04n HCl und mit n/1 $CaCl_2$ ausgetauscht waren und durch alleiniges Auswaschen und Dekantieren chlorfrei erhalten wurden, mußten infolgedessen dialysiert werden. Nach dreimonatigem Dialysieren waren die Boden- bzw. Tonsuspensionen chlorfrei.

Durch das Dialysieren waren die Boden- bzw. Tonsuspensionen stark aufgeteilt worden. Um das überschüssige Wasser zu entfernen, wurden sie über den Heizkörpern der Dampfheizung bei mäßiger Temperatur (20—30 ° C) an der Luft zum Trocknen gebracht. Hierbei setzten sich die Suspensionen in einzelnen Schichten ab, die gröberen Bestandteile am Boden. Der kolloidreiche Bodenanteil, der sich in der obersten Schicht absetzte, bot insofern besondere Erscheinungen, als er beim Schwinden sich scharf absonderte, so daß mitunter jeglicher Zusammenhalt mit dem übrigen Boden verloren ging. Diese, in dünneren Schichten durchscheinende Substanz, war spröde wie Glas und doch wieder außerordentlich hart, so daß sie nur mit äußerster Kraftanstrengung im Achatmörser zerrieben werden konnte.

Nachdem alle Böden und Tone wieder lufttrocken geworden waren, wurden sie fein zerrieben, tüchtig durchgemischt, um sie möglichst homogen zu erhalten, und dann in zugekorkten Pulverflaschen aufbewahrt.

b) Druckfestigkeitsuntersuchungen.

1. Herstellung der Druckkörper.

Aus den durch diesen Basenaustausch vorbereiteten Tonen und Böden wurden Druckkörper zur Festigkeitsprüfung hergestellt.

Da ich mich für die Art der Untersuchung entschied, bei welcher der Druckkörper von einer flachaufliegenden Platte zerdrückt wird, war es wichtig, daß bei der Druckwirkung alle Bodenteilchen, die den Druckkörper bilden, möglichst unter gleichen Druck gesetzt wurden. Dies schien mir am sichersten bei der Würfelform zu sein, die ja auf Grund gleicher Gesichtspunkte in der Zementindustrie bei Druckfestigkeitsuntersuchungen Verwendung findet. Wenn es auch von nicht zu unterschätzender Wichtigkeit ist, daß die Ausmaße in Länge, Breite und Höhe gleich sind, so war doch noch eine Änderung notwendig, da bei Böden und Tonen, die sehr starke Schwindung zeigen, dieselbe sich schwächer auswirkt an den Ecken und Kanten, dafür um so stärker in der Flächenmitte. Dem Mißstand wurde abgeholfen, sobald man an dem Druckwürfel die Ecken und Kanten abrundete. Demzufolge wurde eine Säulenform gewählt, aber mit gleichen Ausmaßen in Flächendurchmesser und Höhe. Als Formen wurden Glasmuffen benutzt, indem man von Glasröhren 3 cm-Stücke absprengte. Der Durchmesser der Röhre betrug 23 mm. An dem jeweils abgesprengten Ende einer „Muffe" wurde auf dem Rande eine Filtrierpapierscheibe angebracht (durch Auftröpfelung am Rande und Festdrücken mit einem Gummiband).

Die auf diese Weise hergestellten Gefäße wurden mit 10 g lufttrockenem Boden bzw. Ton gefüllt, in Glasschalen mit destilliertem Wasser gestellt und so auf volle Wasserkapazität gebracht. Die verschiedenen behandelten Tone und Böden saugten in ganz verschieden langen Zeitspannen das Wasser hoch; am schnellsten diejenigen, die mit 0,04n HCl-Böden hergestellt waren, und am langsamsten die mit n/1 NaCl behandelten. Während im ersten Falle etwa 20 Minuten notwendig waren, brauchte man bei den anderen vierzehn Tage bis drei Wochen bis zur vollen Wasserkapazität. Mitscherlich[36]), vorher schon Wollny, haben in dieser Hinsicht Versuche angestellt. Auch daß dabei die verschiedenen Salzlösungen einen unterschiedlichen Einfluß auf die Leitungsgeschwindigkeit wie auch auf die Steighöhe des Wassers haben können, ist bereits schon früher beobachtet[37]), [38]) worden.

Bei dem Hochsaugen des Wassers entwickelte der mit NaCl behandelte Gäbersdorfer Ton ein ganz gewaltiges Quellungsvermögen und dehnte sich bis auf sein dreifaches Volumen aus.

Bei sämtlichen Alkaliböden und -tonen sowie bei den mit HCl behandelten wurde statt gewöhnlichen Filtrierpapiers Pergamentpapier, wie es zum Dialysieren benutzt wird, angewandt, um einen Verlust an Kolloiden zu verhindern. Da selbst diese Vorsichtsmaßregel bei den mit NaCl behandelten Tonen und Böden erfolglos war und infolge der Länge der Zeit, die zur vollständigen Quellung notwendig war, doch in erheblicher Menge

Kolloide abwanderten, wurden die Proben im Vakuum auf volle Wasserkapazität gebracht. Es konnte so die Quellungszeit um ein Beträchtliches verringert werden und große Verluste an kolloidem Material traten nicht mehr ein. Weiterhin wurden, um zu verhindern, daß nach der Quellung beim Trockenwerden und eintretender Schwindung Bodenteilchen an der Glaswand anklebten und dadurch die Druckkörper zerrissen werden können, die Glasmuffen paraffiniert.

Sobald die höchste Wasserkapazität erreicht war, wurden die Gefäße an einem gleichmäßig temperierten Orte möglichst gleichmäßig getrocknet. Infolge der Schwindung war es dann bereits nach acht Tagen möglich, die Druckkörper unbeschädigt aus den Gefäßen herauszunehmen. Sie wurden vor Prüfung auf ihre Festigkeit noch weitere acht Tage nachgetrocknet.

2. Die benutzte Apparatur.

Zu den Druckfestigkeitsuntersuchungen wurde nach Vorbild einer Einrichtung von H. Kohl[39]) zur Messung der Bindefähigkeit plastischer Rohstoffe und einem Hinweis von Gorka[43]) eine Apparatur gebaut. Das Wesentliche an Kohl's Verfahren ist, daß aus Ton hergestellte Prüfstäbe genau in der Mitte durch eine an einem Bügel befestigte Schneide belastet werden. An dieser hängt zugleich auch der Schroteimer, der sich automatisch mit zulaufendem Schrot füllt, bis der Stab bricht. Da ich die Bodenkörper nicht durch eine Schneide zerbrechen wollte, war es erforderlich, einen ähnlichen Apparat mit einer Druckplatte zum Zerdrücken der Bodenkörper zu bauen.

Auf einem stabilen Eisengerüst ist eine Art Plattform angebracht, die zur Aufnahme der Druckkörper dient. Die auf diese drückende Fläche ist durch zwei Streben, die durch die Plattform hindurchgehen, ohne an den Öffnungen zu reiben, mit einer Aufhängevorrichtung für den zu belastenden Schrotbehälter verbunden. Derselbe hat einen sich trichterartig verengenden Boden. An der tiefsten Stelle befindet sich eine leicht mit einer Schraube verschließbare Öffnung zum raschen Entleeren des Schrotbehälters. Da es sich aus Untersuchungen von Gorka z. B. als unzweckmäßig erwiesen hat, den Druckkörper gleich zu Anfang mit dem Gewicht der Druckplatte samt dem Gewichtsbehältnis zu belasten, ist dieses durch ein Gegengewicht ausbalanciert, das mit der Druckplatte durch eine über leicht drehbare Rollen führende Darmsaite verbunden ist. Bei 50 g Überdruck setzt sich die Druckplatte auf den Druckkörper auf. Um bei der Belastung des Druckkörpers stets eine gleichmäßig zunehmende Druckwirkung zu erzielen, wurde der Schrotzulauf in ähnlicher Weise geregelt wie bei der bereits erwähnten Apparatur von H. Kohl. Der Schrotzulaufbehälter wurde in zweckmäßiger Weise über dem als Zuggewicht dienenden Schrotauffangebehälter angebracht und die Verbindung durch ein Zulaufrohr hergestellt. Um das automatische Stoppen des Zulaufes zu bewerkstelligen, wurde die Öffnung des Schrotzulaufsbehälters mit einem Schieber versehen, der mit der Druckplatte der Apparatur verbunden wurde. Sobald der Druckkörper zerdrückt wird, die Druckplatte sich also um die Höhe des Druckkörpers (18—22 mm) plötzlich senkt, schließt sich im selben Augenblick die Öffnung des Schrotbehälters.

Sehr bald stellte sich heraus, daß die Höchstbelastung von 20 kg vielfach überschritten werden mußte. Es blieb nichts anderes übrig, als für Messungen höherer Druckfestigkeit eine Apparatur zu benutzen, die bereits im Institut mit Erfolg anderweit Verwendung gefunden hatte. Sie besteht im wesentlichen aus einer Tafelwage mit Dezimalsystem und einer darüber angebrachten, festverschraubten Druckleiste. Zwischen der Tafelplatte der Wage und der Druckleiste wird der Druckkörper eingeklemmt und dann der

statt der Wagschale angebrachte Schroteimer in derselben Weise gefüllt wie bei der bereits oben beschriebenen Apparatur. Während aber mit letzterer Messungen bis auf 50 g Genauigkeit vorgenommen werden konnten, mußte man sich bei jener mit einer Genauigkeit von 500 g zufrieden geben. Ein günstiger Umstand war aber im letzten Falle die zehnfache Übertragung durch das Dezimalsystem. Infolgedessen war nur der zehnte Teil Schrot notwendig. Bei einer Druckfestigkeit von 120 kg, wie ich sie mitunter festzustellen hatte, ist das ein großer Vorteil; einmal spart man an Gewichtsmaterial und dann auch an Zeit. Es erscheint somit äußerst zweckmäßig, die Apparatur von Puchner, die auch auf dem Dezimalsystem aufgebaut ist, weiter zu vervollkommnen.

3. Gang der Untersuchung und Ergebnisse.

Beim Auflegen der Druckkörper ist erforderlich, daß die Druckflächen parallel laufen und auf keinen Fall irgendwelche Erhöhungen zeigen. Sie müssen daher glatt abgeschabt werden. Ist der Druckkörper schief, so steht er zwar mit der unteren Fläche senkrecht auf der Preßplatte des Apparates. Bei langsam ansteigendem Druck werden aber zunächst die höher stehenden Teile der oberen, unebenen oder schiefen Fläche beansprucht. Später geben sie nach, die Gewichtsschale ruckt plötzlich um ein Stück nach abwärts und die höher stehenden Bodenteile springen ab. Diese nunmehr etwas gekürzten und zusammengepreßten Zylinder ergeben dann bei weiterer Belastung vielfach extrem hohe Zahlen. Stehen weiterhin die Druckflächen nicht genau übereinander, sondern sind seitlich, etwa parallelogrammartig, verschoben, so genügt eine gegenüber der Durchschnittsbelastung um ein vielfaches geringere Belastung, um die Zertrümmerung herbeizuführen.

Steht der Druckkörper genau senkrecht auf seiner Unterlage und setzt sich die Preßplatte genau horizontal auf den Körper auf, so gewinnt bei zunehmender Belastung ein weiterer Faktor Einfluß auf die Festigkeit; es ist die Masse, aus welcher der Druckkörper besteht. Stellt man sich vor, daß im Druckkörper die größeren kristallinen Teilchen mosaikartig in der kolloiden Masse eingebettet liegen, so sind es ganz gewisse Spannungspotentiale benachbarter Massenteilchen, die hier bei wachsendem Druck den mechanischen Ausgleich erstreben. Je homogener nun die Masse des Druckkörpers ist, z. B. bei Tonen, um so gleichmäßiger wächst bei zunehmender Belastung die Spannung. Es können so manche Körper eine ziemlich hohe Belastung aushalten, ohne deformiert zu werden.

Man kann dann weiterhin noch dabei beobachten, daß dem Druckkörper eine gewisse Elastizität zu eigen ist; denn entfernt man plötzlich das belastende Gewicht, so versucht der Körper wieder seinen anfänglichen Umfang zu erreichen. Es handelt sich dabei nur um eine kleine Differenz von etwa 1 mm; der Körper ist dabei noch vollständig unbeschädigt. Es wird aber gar bald der Fall eintreten, wenn diese plötzliche Entspannung innerhalb des Druckkörpers mehrere Male wiederholt wird, daß sich der Körper auf das ursprüngliche Volumen nicht mehr wieder ausdehnt.

Die in der vorher angeführten Literaturübersicht genannten Autoren hatten von einer Bodenprobe höchstens 10 Parallelen untersucht und dann die schlecht stimmenden Werte vernachlässigt; ich untersuchte jeweils 18 Parallelen, doch streuten die Werte sehr stark. An irgendwelchen Einflüssen verschiedenen Feuchtigkeitsgehaltes konnte dies nicht liegen, da ich die Druckkörper alle in lufttrockenem Zustande untersuchte. Entsprechend den Untersuchungen

von G. Given[40]), der bereits derartige Quetschversuche durchgeführt hat und dabei eine Wirkung der jeweiligen Struktur beobachtete, wurden Parallelunterſuchungen von gefrorenem und ungefrorenem Boden angeſtellt.

G. Given verſucht den Beweis zu erbringen, daß Ton, als Tonſchlicker zubereitet und dann einem gewiſſen Gefrierprozeß unterworfen, in ähnlicher Beſchaffenheit erhalten wird, wie er im gewöhnlichen Zuſtande im Boden zu finden iſt[40]).

Von jeder Bodenprobe wurden jeweils immer 15 jener bereits beſchriebenen Glasformen mit 10 g, auf volle Waſſerkapazität gebrachtem Boden oder Ton in eine zuzudeckende Glasſchale gebracht und in ſchmelzendem Eis und Kochſalz etwa vier Stunden ſtehen gelaſſen. Die Temperatur lag jeweils zwiſchen — 4° und — 8° C. Nach erfolgtem Auftauen wurde dieſer Gefrierprozeß noch einmal am nächſten Tage wiederholt, dann die Druckkörper an der Luft getrocknet.

Als dieſe Druckkörper, die zweimal einen Gefrierprozeß durchgemacht hatten, auf ihre Druckfeſtigkeit unterſucht wurden, zeigte ſich zwar innerhalb der 15 Parallelen auch eine gewiſſe Streuung, doch erwies ſie ſich bei weitem nicht ſo groß, wie bei den ungefrorenen Druckkörpern.

Wenn von den 18 Werten des ungefroren gebliebenen Bodens die drei Werte, die jeweils am ſtärkſten ſtreuen, ausgeſchieden werden, ſo ſtimmt der Mittelwert der reſtlichen 15 Werte faſt genau überein mit dem Mittelwert, der aus den 15 Einzelwerten der Druckfeſtigkeitsbeſtimmungen der gefroren geweſenen Druckkörper von der gleichen Bodenprobe berechnet wurde.

Die Abweichungen vom arithmetiſchen Mittel werden nach H. Rodewald's Vorgang unter Benutzung der Fehlerwahrſcheinlichkeitsrechnung feſtgeſtellt.

Vor Beginn der planmäßigen Unterſuchungen wurde zunächſt von verſchiedenen Bodenproben wahllos eine größere Anzahl von Druckkörpern (bis zu 50) hergeſtellt und auf ihre Druckfeſtigkeit geprüft. Die ermittelten Durchſchnittswerte gaben dann einen Anhalt dafür, daß man die Anzahl der Druckkörper bedeutend beſchränken konnte. Denn vielfach war der Mittelwert von 30 oder gar 40 Prüfungen gleich dem Mittelwert von 20, 18 oder gar 15 Druckfeſtigkeitswerten. Schaltete man dann noch, wie auch ſchon erwähnt, von dieſen 18 Druckfeſtigkeitswerten die am ſtärkſten ſtreuenden Werte (jeweils 3) aus, ſo erhielt man in dem Durchſchnittswert von den reſtlichen 15 Werten doch einen ziemlich genauen Mittelwert. Dieſe Ausſchaltung war inſofern berechtigt, als dieſe ſo ſtark ſtreuenden Werte immer bei ſolchen Druckkörpern feſtgeſtellt wurden, die irgendwelche durch die Herſtellung bedingte Fehler aufwieſen. Bei den gefroren geweſenen Druckkörpern erfolgte die Ausmerzung nicht, da bei dieſen die Werte, abgeſehen von geringen Ausnahmen*), weniger ſtreuten, wie noch ſpäter aus der

*) Siehe in Tabelle S. 121/122 die durch Punkte gezeichneten Durchſchnittswerte.

Hauptzusammenstellung der Druckfestigkeitswerte an gefrorenen und ungefrorenen Druckkörpern zu ersehen ist.

Nachfolgend sind auf diese Weise erhaltene Ergebnisse gegenübergestellt, um zu zeigen, daß die Zahl der Einzeluntersuchungen auf 18 bzw. 15 beschränkt werden konnte, ohne daß sich der festgestellte Mittelwert bedeutend veränderte.

Ungefroren

Ton von Großalmerode (ausgetauscht mit n/1 NH_4Cl).

Von 18 Druckfestigkeitswerten wurden die 3 am stärksten streuenden Werte ausgeschaltet und die restlichen 15 Werte nachfolgend wiedergegeben:	Druckfestigkeitswerte von 30 Druckkörpern:
	52.700 kg + 1.074
	54.500 „ + 2.874
	57.400 „ + 5.774
	65.400 „ + 13.774
	53.200 „ + 1.574
	60.900 „ + 9.274
	58.500 „ + 6.874
	55.400 „ + 3.774
	56.200 „ + 4.574
	55.600 „ + 3.974
	55.900 „ + 4.274
	54.200 „ + 2.574
	53.900 „ + 2.274
	55.700 „ + 4.074
	59.200 „ + 7.574
55.600 kg + 3.920	56.800 „ + 5.174
57.400 „ + 5.720	44.800 „ — 6.826
53.200 „ + 1.520	43.900 „ — 7.726
60.900 „ + 9.220	50.500 „ — 1.126
58.500 „ + 6.820	48.200 „ — 3.426
55.400 „ + 3.720	45.700 „ — 5.926
56.200 „ + 4.520	45.800 „ — 5.826
55.900 „ + 4.220	44.200 „ — 7.426
44.800 „ — 6.880	44.100 „ — 7.526
43.900 „ — 7.780	43.100 „ — 8.526
50.500 „ — 1.180	42.200 „ — 9.426
48.200 „ — 3.480	48.800 „ — 2.826
45.700 „ — 5.980	46.500 „ — 5.126
45.800 „ — 5.880	44.000 „ — 7.626
43.200 „ — 8.480	51.500 „ — 0.126
Durchschnittswert:	
51.680 kg	51.626 kg

Summe der Abweichungen:

+ 39.660	+ 79.484
— 39.660	— 79.464
79.320	158.948
51.680 kg ± 1.189	51.626 kg + 1.192

Um die von mir gewonnenen Austauschböden mit den ihnen zugehörigen, naturreinen Böden in bezug auf Druckfestigkeit vergleichen zu können, mußte für diese letzteren eine Vergleichsbasis gefunden werden. Es erwies sich als unzweckmäßig, die naturreinen Böden zur Herstellung der Druckkörper ohne weitere Vorbereitung im lufttrockenen Zustande nur durch ein 2 mm-Sieb zu sieben, da die Eigenschaft der Krümelbildung den wahren Sachverhalt verschleierte. Die größeren Bodenkrümel, die gerade noch die 2 mm-Maschen passieren konnten, zeichneten sich durch hohe Widerstandskraft aus. Sie veränderten sich trotz Quellung und Schwindung sehr wenig bei der Herstellung der Druckkörper. Letztere besaßen dann eine gewisse Sprödigkeit, so daß sie bei zunehmender Belastung gar bald zerkrümelten. Hierin zeigten sie ein grundverschiedenes Verhalten im Vergleich zu den Druckkörpern, die aus den Austauschböden hergestellt waren. Die Verschiedenheit verbot es, bei den Druckfestigkeitsprüfungen die „unbehandelten", naturreinen Böden, nur durch ein 2 mm-Sieb gesiebt, mit den „behandelten", den Austauschböden, zu vergleichen oder anders ausgedrückt die „nicht dialysierten" mit den „dialysierten".

Die natürlichen Böden wollte ich aber auch nicht dialysieren, läuft man doch dabei Gefahr, daß der Basengehalt der Böden hierbei so verändert wird, daß die Böden nachher mit denselben Böden vor dem Dialysieren nichts mehr gemein haben und somit ein Vergleich mit „unbehandelt, natürlich" wiederum nicht möglich ist. Daher wurden diese Böden noch feiner zerrieben und dann durch ein 1 mm-Sieb gesiebt.

Vergleichsweise wurden außerdem noch von diesen Böden Druckkörper hergestellt, wobei der Boden vorher noch im Achatmörser äußerst fein zerrieben wurde.

Die Ergebnisse der so in dieser Weise mechanisch verschieden verbreiteten natürlichen, lufttrockenen Böden sind in folgenden Tabellen gegenübergestellt. Es ist daraus zu ersehen, daß mit zunehmender mechanischer Zerkleinerung ebenfalls die Druckfestigkeit der aus ihnen hergestellten Druckkörper zunimmt. Vergleicht man die Böden untereinander, so besteht bei den durch ein 2 mm-Sieb gesiebten Böden von Rostersdorf und Wersingawe in der Druckfestigkeit fast kein Unterschied, obwohl auf Grund der Schlämmanalyse der Rostersdorfer Boden im Verhältnis aus

einem bedeutend höheren Anteil feinster Bodenteilchen zusammengesetzt ist als der Boden von Wersingawe. Erst bei gesteigerter mechanischer Zerkleinerung kommt diese Eigenschaft zum Ausdruck; denn die Druckfestigkeit der Druckkörper des im Achatmörser zerkleinerten Rostersdorfer Bodens ist höher als die des in gleicher Weise vorbereiteten Bodens von Wersingawe. Die Druckfestigkeit des durch ein 2 mm-Sieb gesiebten Bodens von Boguslawitz ist äußerst niedrig, besteht er doch zu einem hohen Prozentanteil aus sandigen Bestandteilen; dabei ist er infolge seines hohen Humusgehaltes sehr gut gekrümelt. Mit zunehmender Zerkleinerung und Zertrümmerung dieser Krümel tritt diese Wirkung des Humusgehalts, welcher vorher die einzelnen Einheiten der nunmehr zertrümmerten Bodenkrümel zusammenhielt und so mehr einem sandigen Boden gleichen ließ, zurück.

In gleicher Weise vergrößert sich bei allen drei Böden mit zunehmender Zerkleinerung und Zertrümmerung der Krümel die Schwindung. Berechnet man dieselbe in der Weise, wie es Atterberg vorgeschlagen hat, so erhält man folgende Werte:

Boden von:		Rostersdorf	Wersingawe	Boguslawitz
		natürlich, lufttrocken, unbehandelt.		
		Ungefroren		
durch ein 2 mm-Sieb gesiebt	a	18.180 kg ± 0,460	19.430 kg ± 0,349	2.487 kg ± 0,05?
	b	10,1%	8,9%	0%
durch ein 1 mm-Sieb gesiebt	a	22.786 kg ± 0,399	21.580 kg ± 0,457	4.458 kg ± 0,119
	b	12,5%	11,2%	0%
im Achatmörser zerrieben	a	31.580 kg ± 0,868	28.300 kg ± 0,429	16.286 kg ± 0,288
	b	14,9%	13,2%	10,8%
		Gefroren		
durch ein 2 mm-Sieb gesiebt	a	17.926 kg ± 0,404	18.026 kg ± 0,510	25.266 kg ± 0,873
	b	10,8%	9,1%	11,3%
durch ein 1 mm-Sieb gesiebt	a	27.481 kg ± 0,765	17 020 kg ± 0,530	15.106 kg ± 0,412
	b	14,1%	12,3%	5,5%

Wert b den Mittelwert der Schwindung.
Hierbei gibt an: Wert a den Durchschnittswert der Druckfestigkeit;
Druckfestigkeit und Schwindung stehen zueinander in engster Beziehung.

In der vorher angeführten Zusammenstellung sind auch die Werte angegeben, welche durch einen zweimaligen Gefrierprozeß hervorgerufen wurden. Die Bodenkrümel der durch ein 2 mm-Sieb gesiebten Böden von Rostersdorf und Wersingawe müssen in sich eine außerordentliche Widerstandsfähigkeit besitzen, da dieselben

trotz zweimaligen Gefrierprozesses nicht zerkleinert wurden; denn auch hier stimmen die gefundenen Durchschnittswerte dieser beiden Böden fast genau überein. Ebenfalls kommt hier erst nach weiterer mechanischer Zerkleinerung und Absieben durch ein 1 mm-Sieb der viel höhere Anteil des Rostersdorfer Bodens an feinsten Bodenteilchen zur Geltung; die Teilchen lagern sich bedeutend enger aneinander als die des Wersingawener Bodens und bedingen hierdurch eine höhere Festigkeit.

Anders verhält es sich mit dem Boden von Boguslawitz. Während die Durchschnittswerte des durch ein 2 mm-Sieb gesiebten Bodens von Rostersdorf und Wersingawe nicht besonders abweichen von jenen an ungefrorenen Druckkörpern erhaltenen, zeigt der Druckfestigkeitswert des Bodens von Boguslawitz eine ganz bedeutende Steigerung gegenüber dem ungefrorenen Boden. Es muß daher angenommen werden, daß hier die Krümel, die beim ungefrorenen Boden trotz Benetzung bis auf höchste Wasserkapazität ihre Form beibehielten, durch den zweimaligen Gefrierprozeß zertrümmert wurden und eine engere Aneinanderlagerung der Einzelteilchen bedingten.

Schwieriger gestaltete sich die Ermittelung der Druckfestigkeit der mit n/1 NaCl ausgetauschten Böden und Tone. Wurden die Druckkörper genau so vorbereitet, wie die übrigen, so zeigten die ermittelten Festigkeitswerte gegenüber „unbehandelt" kaum einen Unterschied. Diese Feststellung zwang, die Druckkörper etwas genauer zu untersuchen.

So konnte man bereits mit der Lupe feststellen, daß zwischen den einzelnen Bodenteilchen sich (vor allem beim Rostersdorfer Boden) gewisse kleine Teilchen befanden, die aus der Schicht, die sich bei diesen Na-Böden nach dem Dialysieren beim Eintrocknen als oberste Schicht zuerst absetzte, herrührten. Da diese, als nahezu feinste Fraktion, den größten Gehalt an Kolloiden besitzt, so muß daraus gefolgert werden, daß ein großer Anteil von Kolloiden in den Druckkörpern noch nicht gequollen war, als der Druckkörper, durchgehend durchfeuchtet, getrocknet wurde. Da zur vollständigen Quellung der kolloiden Substanz bei einem Druckkörper aus Na-Boden über 4 Wochen notwendig waren, dabei aber, weil der Druckkörper dauernd im Wasser stehen mußte, dem Boden infolge der damit unvermeidlich verknüpften Diffundierung durch die Membran wiederum eine gewisse Menge von Kolloiden verloren ging, so mußte die Zeit der Infiltration auf irgend eine Weise abgekürzt werden. Dies geschah in der Weise, daß die Druckkörper im Vakuum auf volle Wasserkapazität gebracht wurden. Nachfolgend sind nun hier die Ergebnisse von Prüfungen auf solche Weise vorbereiteter Druckkörper wiedergegeben.

Ungefroren

	Ton von Großalmerode	Ton von Gäbersdorf ausgetauscht mit n/1 NaCl
Durchschnittswert:	23.490 kg ± 1,104	120.380 kg ± 1,806

Boden von:	Rostersdorf	Wersingawe	Boguslawitz ausgetauscht mit n/1 NaCl
Durchschnittswert:		26.680 kg ± 0,421	
	29.553 kg ± 0,956		52.816 kg ± 1,377

Gefroren

	Ton von Großalmerode	Ton von Gäbersdorf ausgetauscht mit n/1 NaCl
Durchschnittswert:	30.673 kg ± 1,272	42.453 kg ± 1,762

Boden von:	Rostersdorf	Wersingawe	Boguslawitz ausgetauscht mit n/1 NaCl
Durchschnittswert:		13.626 kg ± 0,567	
	29.446 ± 1,177		22.480 kg ± 0,787

Bei den zuletzt ermittelten Zahlenwerten muß auffallen, wie immer noch sehr wenig der Durchschnittswert vom Rostersdorfer Boden gegenüber dem Durchschnittswert vom unbehandelten Boden sich unterscheidet. Da im Vergleich aber zum mit NaCl behandelten Gäbersdorfer Ton angenommen werden mußte, daß die NaCl-Behandlung die Druckfestigkeit bedeutend erhöht, wurde folgende Vorbereitung für die beiden Böden von Rostersdorf und Wersingawe getroffen.

Der Boden wurde feucht durchgeknetet, sodann in einer Achatschale feucht zerrieben. Sobald ein einheitlich homogener Brei erhalten war, wurde dieser dann an der Luft langsam zum Trocknen gebracht. Nach vollständiger Abtrocknung wurde der Boden hierauf wieder in der Achatschale fein zerrieben und dann in die Druckkörperformen gefüllt. Die so erhaltenen Druckkörper wurden schließlich, genau so wie vorher die anderen, in gleicher Weise im Vakuum auf volle Wasserkapazität gebracht und drei Wochen feucht stehen gelassen. Die eine Hälfte dieser Druckkörper wurde noch in bereits vorher beschriebener Weise einem Gefrierprozeß unterworfen, um auch innerhalb dieser Versuchsreihe einen Vergleich zu haben.

Ungefroren

Boden von:	Rostersdorf	Werfingawe
	ausgetauscht mit n/1 NaCl	
Durchschnittswert:	50.780 kg + 4.064	40.546 kg + 0.614

(Bei den Druckkörpern des Rostersdorfer Bodens war bei fast allen die obere Hälfte wagerecht abgesprungen. Hierauf lassen sich die mitunter sehr niedrigen Werte zurückführen.)

Gefroren

Boden von:	Rostersdorf	Werfingawe
	ausgetauscht mit n/1 NaCl	
Durchschnittswert:	60.100 kg + 4.764	37.153 kg + 2.008

Anmerkung:

Ebenfalls wie bei den ungefrorenen wiesen die gefroren gewesenen Druckkörper des Rostersdorfer Bodens zahlreiche Sprünge auf, wodurch die mitunter sehr niedrigen Werte bedingt sind.

Neben jenen Böden, deren Adsorptionskapazität mit Ca++ gesättigt ist, wurden zum Vergleich mit den unbehandelten Bodenproben auch noch dieselben Böden, nur mit CaO gedüngt, auf Druckfestigkeit untersucht.

	Durchschnittswerte der Druckfestigkeit der Böden von:		
	Rostersdorf	Werfingawe	Boguslawitz
Druckkörper, ungefroren geblieben:			
unbehandelt (1 mm-Sieb gesiebt)	22.786 kg	21.580 kg	4.458 kg
gekalkt (CaO) (1 mm-Sieb gesiebt)	40.420 kg	20.000 kg	1,737 kg
Druckkörper vorher gefroren:			
unbehandelt (1 mm-Sieb gesiebt)	27.486 kg	17,020 kg	15.106 kg
gekalkt (CaO) (1 mm-Sieb gesiebt)	20.573 kg	11.940 kg	4.970 kg

Vergleicht man zuerst die Druckfestigkeitswerte der gefroren gewesenen Druckkörper, so findet man deutliche Unterschiede in der Festigkeit. Die Kalkung bewirkte einen bedeutend loseren Zusammenhalt der Bodenteilchen im Druckkörper.

Sonderbarerweise kommt dieser Einfluß bei den ungefroren gebliebenen Druckkörpern nicht in gleichem Maße zum Ausdruck. Besonders muß bei den ungefroren gebliebenen Druckkörpern auffallen, daß der gefundene Wert des gekalkten Bodens von Rostersdorf gegenüber dem Wert vom ungekalkten Boden bedeutend höher ist. Auch bei den mit $CaCl_2$ ausgetauschten Böden und Tonen

wiesen die Druckkörper aus Gäbersdorfer Ton die höchste Druckfestigkeit auf; und zwar ebenfalls bei den ungefroren gebliebenen Druckkörpern. Wahrscheinlich sind diese hohen Werte zurückzuführen auf das Verhalten der OH-Jonen, so daß bei Gegenwart von $Ca(OH_2)$ innerhalb gewisser Grenzen eine Aufteilung stattfindet, wie es Mattson[41]) und Given[40]) bei ihren Untersuchungen festgestellt haben.

Anmerkung:

Der gekalkte Boden von Rostersdorf entstammt einer Versuchsparzelle eines Bodenbearbeitungsversuches; diese Parzelle hatte September 1927 eine Kalkgabe erhalten (CaO), die einer Gabe von 1 125 kg Branntkalk pro ¼ Hektar entsprach.

Desgleichen ist bei dem gekalkten Boden von Wersingawe dies der Fall. Nur entsprach hier die der Parzelle verabreichte Kalkgabe einer Gabe von 2 100 kg pro ¼ Hektar.

Der gekalkte Boden von Boguslawitz entstammt einem im September 1927 gekalkten Plan, der eine Gabe von 200 kg Branntkalk pro ¼ Hektar erhielt.

Alle drei Bodenproben wurden bereits anfangs November desselben Jahres entnommen. Im lufttrockenen Zustande wurden dieselben sodann im Laboratorium aufbewahrt. Die Druckfestigkeitsprüfungen wurden an diesen Böden im Frühjahr 1929 vorgenommen.

Zusammenstellung der Durchschnittswerte.

a = von ungefrorenen Tonproben
b = von gefroren gewesenen Tonproben.

		Ton von Großalmerode	Ton von Gäbersdorf
natürlich, lufttrocken unbehandelt,			
durch ein 1 mm-Sieb gesiebt:	a	40.160 kg ± 0,933	52.970 kg ± 1,737
	b	28.280 kg ± 1,156	41.566 kg ± 1,055
ausgetauscht mit:			
0,04n HCl	a	41.140 kg ± 1.321	72.240 kg ± 1,783
	b	12.626 kg ± 0,603•	35.686 kg ± 1,604
n/1 KCl	a	39.580 kg ± 2,288	42.733 kg ± 2,852
	b	43.800 kg ± 1,356	54.740 kg ± 3,373
n/1 NH_4Cl	a	51.680 kg ± 1,190	50.873 kg ± 1,380
	b	22,940 kg ± 0,518•	26.060 kg ± 0,601
n/1 NaCl	a	23.490 kg ± 1,104	120.380 kg ± 1,806
	b	30.673 kg ± 1,272•	42.453 kg ± 1,762•
n/1 $BaCl_2$	a	41.580 kg ± 0,999	79.013 kg ± 1,857
	b	10.200 kg ± 0,258•	25.840 kg ± 0,981
n/1 $MgCl_2$	a	50.156 kg ± 1,153	27.726 kg ± 0,828
	b	24.473 kg ± 2.739•	44.113 kg ± 1,202
n/1 $CaCl_2$	a	52.220 kg ± 1,144	98.140 kg ± 2,878
	b	25.026 kg ± 1,021	41.406 kg ± 1,604•

Anmerkung: • Die Druckkörper der betreffenden Untersuchungsreihe sind beim Gefrieren durch Auftreten von Rissen und Spalten stark deformiert worden.

Zusammenstellung der Durchschnittswerte.

a = von ungefrorenen Bodenproben
b = von gefrorenen Bodenproben

Boden von:		Rostersdorf	Wersingawe	Boguslawitz
		natürlich, lufttrocken unbehandelt,		
durch ein 2 mm-Sieb gesiebt	a	18.180 kg ± 0,460	19.430 kg ± 0,349	**2.487 kg ± 0,053**
	b	17.926 kg ± 0,404	18.026 kg ± 0,510	**25.266 kg ± 0,873**
durch ein 1 mm-Sieb gesiebt	a	22.786 kg ± 0,399	21.580 kg ± 0,457	**4.458 kg ± 0,119•**
	b	27.486 kg ± 0,765	17.020 kg ± 0,530	15.106 kg ± 0,412
im Achatmörser zerrieben	a	31.580 kg ± 0,868	28.300 kg ± 0,429	16.286 kg ± 0,288
	b	—	—	—
ausgetauscht mit:				
0,04n HCl	a	9.514 kg ± 0,329	2.129 kg ± 0,106	**2.017 kg ± 0,096**
	b	8.876 kg ± 0,382	3.005 kg ± 0,213	**1.443 kg ± 0,064**
n/1 KCl	a	19.416 kg ± 0,484	77.500 kg ± 1,092	36.916 kg ± 0,694
	b	14.260 kg ± 0,505	4.718 kg ± 0,112	**3.174 kg ± 0,179**
n/1 NH_4Cl	a	12.224 kg ± 0,482	12.500 kg ± 0.231	12.250 kg ± 0,413
	b	13.786 kg ± 0,290	11.106 kg ± 0,532	10.986 kg ± 0,531
n/1 NaCl	a	29.553 kg ± 0,956	26.680 kg ± 0,421	52,816 kg ± 1,377
	b	29.446 kg ± 1,177	13.626 kg ± 0,567	22.480 kg ± 0,787
vorher in der Achatschale feucht zerrieben:				
	a	50.780 kg ± 4,064•	40.546 kg ± 0,614•	—
	b	60.100 kg ± 4,764•	37.153 kg ± 2,008•	—
n/1 $BaCl_2$	a	14.450 kg ± 0,326	2.267 kg ± 0,073	**1.590 kg ± 0,050**
	b	10.780 kg ± 0,283	3.053 kg ± 0,122	**2.010 kg ± 0,125**
n/1 $MgCl_2$	a	25.246 kg ± 0,688	14.420 kg ± 0,578	**5.254 kg ± 0,133**
	b	22.583 kg ± 0,787	11.780 kg ± 0,379	**5.841 kg ± 0,244•**
n/1 $CaCl_2$	a	36.780 kg ± 0.986	7.195 kg ± 0,359	**7.688 kg ± 0,127**
	b	27.233 kg ± 1,212•	8.666 kg ± 0,184	**6.176 kg ± 0,134**
gekalkt mit CaO	a	40.420 kg ± 0,509	20.000 kg ± 0,372	**1.737 kg ± 0,070**
	b	20.573 kg ± 0,565	11.940 kg ± 0.333	**4.970 kg ± 0,179**

Anmerkung: •Die Druckkörper der betreffenden Untersuchungsreihe sind stark beim Trocknen bezw. Gefrieren durch Auftreten von Rissen und Spalten deformiert worden.

Die fetten Zahlenwerte sollen zugleich auch angeben, daß die Druckkörper dieser Untersuchungsreihe keine Schwindung zeigten.

Die vom mit n/1 $NaCl_2$ ausgetauschten Rostersdorfer Boden erhaltenen Einzelwerte streuten stark. Diese starke Streuung kann nicht etwa auf die Herstellung der Druckkörper zurückgeführt

werden, denn bei nochmaliger Wiederholung der Versuchsanstellung war die gleiche Streuung der Einzelwerte festzustellen. Sie muß vielmehr in Beziehung gebracht werden mit der Beobachtung, daß infolge des Gefrierprozesses die Druckkörper vielfach Risse und Spalten zeigten. Da diese auch bei der Versuchswiederholung sehr unterschiedlich auftraten, mußten die Druckfestigkeitswerte der auf diese Weise stark deformierten Druckkörper naturgemäß niedriger liegen.

Die Durchschnittswerte der gefroren gewesenen Druckkörper des Wersingawener und Boguslawitzer Bodens sind fast gleich den an ungefrorenen Boden ermittelten, während sie beim Rostersdorfer Boden Verschiedenheiten zeigen. Sonderbarerweise ist dieses Zerreißen und Zerspringen der dem Gefrierprozeß ausgesetzt gewesenen Druckkörper abgesehen vom Ton in solchem Ausmaß und in solch unterschiedlicher Art und Weise nur bei diesem mit $CaCl_2$ ausgetauschten Boden von Rostersdorf zu beobachten gewesen.

In einem weiteren, nur mit Boguslawitzer Boden ausgeführten Versuch wurde jeder Druckkörper nach dem Zerdrücken sogleich in ein Wägeglas gebracht und ihm dann bei 110° Celsius durch 4 stündige Erhitzung die Feuchtigkeit entzogen.

Sieht man bei den nachfolgenden Tabellen von den fetten Zahlenwerten ab, die gegenüber den übrigen verhältnismäßig hoch erscheinen und sich zweifellos infolge einer Reihe von accessorischen, wahllos auftretenden Bestandteilen immer einstellen werden, wenn man naturreinen Boden untersucht, so muß man feststellen, daß der Feuchtigkeitsgehalt der lufttrockenen Bodenkörper ziemlich konstant ist; weiterhin, daß die Schwankungen, wie sie nun einmal vorkommen, keineswegs zu der ermittelten Festigkeit in Beziehungen stehen[27]).

Boden von Boguslawitz

natürlich, lufttrocken, unbehandelt, lediglich nur zerrieben und durch ein 1 mm-Sieb gesiebt.

Druckfestigkeit	Abgegebene Feuchtigkeit des Druckkörpers in g	bezogen auf lufttrockenen Boden
6.550 kg	0.149 g	1.59%
6.250 „	0.155 „	1.72%
5.600 „	0.209 „	2.40%
5.350 „	0.150 „	1.67%
4.850 „	0.140 „	1.57%
4.800 „	0.153 „	1.73%
4.800 „	0.140 „	1.67%

Druckfestigkeit	Abgegebene Feuchtigkeit des Druckkörpers in g	Abgegebene Feuchtigkeit bezogen auf lufttrockenen Boden
4.800 kg	0.142 g	1.68%
4.650 „	0.151 „	1.64%
4.250 „	0.144 „	1.63%
4.200 „	0.151 „	1.74%
4.100 „	0.152 „	1.73%
3.800 „	0.167 „	1.83%
3.000 „	0.142 „	1.63%
2.750 „	0.148 „	1.74%

Boden von Boguslawitz

natürlich, lufttrocken, unbehandelt, im Achatmörser zerrieben, so daß die Bodenteilchen noch feiner sind als die, welche bei obiger Vorbereitung erhalten wurden.

Druckfestigkeit	Abgegebene Feuchtigkeit des Druckkörpers in g	Abgegebene Feuchtigkeit bezogen auf lufttrockenen Boden
17.800 kg	0.159 g	1.60%
17.600 „	0.286 „	**2.95%**
16.600 „	0.157 „	1.71%
15.900 „	0.158 „	1.62%
15.000 „	0.153 „	1.61%
14.800 „	0.154 „	1.58%
13.400 „	0.149 „	1.55%
13.200 „	0.152 „	1.59%
12.800 „	0.269 „	**2,84%**
12.600 „	0.163 „	1.64%
12.600 „	0.163 „	1.64%
12.400 „	0.166 „	1.74%
11.900 „	0.155 „	1.60%
11.800 „	0.152 „	1.57%
11.700 „	0.155 „	1.60%
10.700 „	0.160 „	1.66%

Anmerkung: An den Druckkörpern aus Boden, gesiebt durch 1 mm-Sieb, war die Schwindungserscheinung keineswegs festzustellen, während dieselbe bei aus im Achatmörser zerriebenem Boden hergestellten augenscheinlich in Erscheinung trat.

Gefrieren in flüssiger Luft.

Versuchsweise wurden Druckkörper von einigen Boden- und Tonproben statt in einer Kältemischung in flüssiger Luft zum Gefrieren gebracht[40]). Die auf volle Wasserkapazität behandelten Druckkörper wurden in ihrer Druckform etwa 10 Sekunden in flüssige Luft gestellt, so daß gerade die Flüssigkeit den Zylinder bedeckte. Nach dem Herausnehmen wurden sie nachher genau so behandelt wie die von den vorhergehenden Versuchen. Teilweise unterscheiden sich die Ergebnisse kaum von denen, die an ungefrorenen Druckkörpern erhalten wurden, teilweise aber treten an diesen Druckkörpern Erscheinungen auf, wie sonderbares horizontales Durchspringen oder höchst merkwürdige Volumenverschiedenheiten.

Beobachtungen bei den Druckfestigkeitsuntersuchungen.

Zunächst wird bei zunehmender Belastung äußerlich am Druckkörper nichts wahrgenommen, bis die Elastizitätsgrenze erreicht ist. Es tritt nun ein „Fließen" ein, indem sich die Körper unter Wahrung ihrer körperlichen Geschlossenheit ohne merkliche Rißbildung verformen. Hierbei ist das Maß der äußeren, mechanischen Beanspruchung durch Druck von Einfluß auf die Geschwindigkeit der Verformung, die je nach Zähigkeit der Substanz verschieden ist.

Zieht man die Beobachtungen, wie sie in der Materialprüfung an Metallprüfkörpern gemacht werden, zum Vergleich heran, so besteht im Verhalten der Bodendruckkörper mit jenen eine gewisse Ähnlichkeit. Auch bei den Bodendruckkörpern wird die Ursache des „Fließens"[42]) in der verschiedenen Spannung zwischen den einzelnen Bodenteilchen des Druckkörpers begründet sein. Die dann auftretende Druckspannung wird sich, insofern als die Druckkörper keineswegs homogen aus Einzelteilchen zusammengesetzt sind, nicht gleichmäßig auf die Einzelteilchen verteilen. Der dabei angestrebte mechanische Ausgleich bedingt die Bewegung.

Das gleichmäßige Ansteigen der Spannung wird hinreichend durch den gleichmäßigen Schrotzulauf berücksichtigt. Je mehr die einzelnen Aggregate, die den Druckkörper zusammensetzen, in ihrem Umfange und in ihrer Zusammensetzung variieren, umso eher wird somit die Entspannung erfolgen.

Dabei kommt es an den Berührungsflächen verschieden dichter, lagenförmig übereinander geschichteter Teilchen, die sich mit abweichender Geschwindigkeit bewegen, zu Biegungen und Wellungen der Gleitflächen. Die dann nach Überschreitung der Elastizitätsgrenze bei Entlastung schon mit bloßem Auge zu beobachtende Formveränderung, die „Dehnung" oder „Streckung", besteht vornehmlich darin, daß Teilchen sich in zwei Gruppen von untereinander parallelen „Gleitschichten" gegeneinander verschieben; in

ihnen wird die Reibung zuerst überwunden. Die Spuren hiervon kommen auf den Gleitflächen zum Ausdruck.

Es kommt jetzt noch der Faktor „Zeit" zur Auswirkung. Denn der Bruch wird nicht nur erfolgen, wenn die Belastung nach Erreichung der Elastizitätsgrenze auch weiterhin in kontinuierlicher Weise zunimmt, sondern er wird auch erfolgen, wenn bei Erreichung jener Grenze die Belastung innerhalb einer gewissen Frist die gleiche bleibt.

Diese Beobachtungen sind infolge der geringen Schwankung in der Teilchengröße vornehmlich warzunehmen an Tonen, auch tritt dieses Verhalten bei den Na-Böden deutlich in Erscheinung.

Durch jenes elastische Verhalten der Druckkörper wird, wenn auch nur mittelbar, die mitunter so große Streubreite bei Ermittelung der Einzelwerte mitbedingt. Bei weitgehendster Klärung des Sachverhaltes muß man erkennen, daß diese Erscheinungen ursächlich auf die Krümelbildung, wie sie jedem Ton oder Boden mehr oder weniger zu eigen ist, zurückzuführen sind. Je mehr nun diese Eigenschaft bei den Ton- und Bodenproben zur Ausbildung gelangt, desto mehr wirkt sich dann im Druckkörper ein sprödes Verhalten gegen Druck aus.

Diese Krümelbildung wiederum steht in engster Wechselbeziehung zu dem Basengehalt des Tones bezw. des Bodens. Wenn auch die alleinige Wirkung des verschiedenen Basengehaltes nicht immer klar zum Ausdruck kommt, sondern vielfach überdeckt ist von Wirkungen des Humusgehaltes, der ebenfalls stark die Festigkeit beeinflußt, so ist doch aus den Untersuchungen zu ersehen, wie große Bedeutung diesem Einfluß beizumessen ist, steht er doch im engsten Zusammenhange mit der inneren Aneinanderlagerung der die kleinen Bodenteilchen zusammensetzenden Komponenten.

Erst in weiterer Linie kommt der Einfluß zur Geltung, der zurückzuführen ist auf die räumliche Anordnung dieser Bodenkrümel im Rahmen des Gesamtbildes.

Es lassen sich hiernach drei verschiedene Arten des Zerberstens der Druckkörper feststellen, nach denen man die vorher angeführten Ton- und Bodenproben einteilen kann.

1. Der Druckkörper kann stark zusammengedrückt werden, ohne das äußerlich etwas wahrzunehmen ist. Nach erfolgter hinreichender Zerrung und Dehnung suchen die inneren Bodenteilchen des Druckkörpers in Richtung des geringsten Widerstandes dem zunehmenden Druck zu entweichen. Die Seitenwände des Druckkörpers biegen sich dabei nach außen auseinander und der innere Teil des Körpers

wird nach außen herausgepreßt. Die Druckflächen bewahren hierbei vollständig ihren äußeren Zusammenhang.

Dieser Art entsprechend verhalten sich die mit NaCl und NH_4Cl ausgetauschten Tone und Böden.

2. Der Druckkörper erhält nach Überschreitung der Elastizitätsgrenze einen Sprung, verlaufend in der Richtung der Druckwirkung; die somit eintretende Entspannung bewirkt eine Verzögerung bis zur endgültigen Zertrümmerung des Körpers. Es wird so infolgedessen immer mehr Schrot zulaufen, als eigentlich zur Zertrümmerung des Körpers notwendig ist. Eine dabei bereits stark in Erscheinung tretende Krümelung bedingt eine gewisse Sprödigkeit.

Dieser Gruppe sind zuzuteilen alle übrig behandelten Tone sowie auch die unbehandelten Tone; ferner die mit $CaCl_2$, $MgCl_2$ und KCl behandelten Böden; ebenso die unbehandelten und mit CaO gekalkten Böden, soweit sie sehr fein als Vorbereitung zerrieben wurden. Ausgenommen sind alle Bodenproben des Boguslawitzer Bodens, soweit deren Druckkörper beim Trocknen keine Schwindung zeigten.

3. Der Druckkörper zeigt keine Elastizität. Er erhält bei der Belastung sofort unzählige Sprünge und zerfällt in unzählige Bröckchen, Teilchen und staubfeines Pulver.

Hierzu sind zu rechnen alle mit HCl und $BaCl_2$ behandelten Böden, sowie alle übrigen Böden von Boguslawitz, die unter Gruppe 2 ausgenommen waren, und äußerlich dadurch schon auffallen, daß bei ihnen beim Trocknen keine Schwindung erfolgte. Weiterhin gehören hierzu alle unbehandelten Böden, die nur durch ein 2 mm-Sieb gesiebt waren.

Der Gefrierprozeß bewirkt einen gewissen Übergang zwischen diesen drei Gruppen. Die Unterschiede treten nicht mehr so kennzeichnend in Erscheinung wie bei den ungefrorenen Bodenproben. Es ist im Verhalten der Druckkörper beim Zerdrücken eine gewisse Annäherung an Gruppe 2 zu beobachten. Dabei mag im Rahmen dieser Arbeit die Frage offen gelassen werden, ob der Frost[43,44,45]) mehr aufteilende oder eine mehr zusammenballende (krümelnde?) Eigenschaft besitzt. Den Anschein hat es allerdings, wie wenn die einzelnen Bodenteilchen nach dem Gefrieren die Lagerung innerhalb des Gesamtverbandes einnehmen, die am ehesten der natürlichen Lagerung entspricht. Eine gewisse Anzahl von Tonproben fallen da aber bereits wieder aus der Reihe. Sie sind in der Zusammenstellung der Durchschnittswerte gezeichnet. Von diesen Proben war trotz mehrfach wiederholter Versuchsanstellung kein unbeschädigter Druckkörper zu erhalten. Auffallend ist dabei noch, daß der mit $CaCl_2$ behandelte Rostersdorfer Boden so sehr aus der Reihe fällt.

Auch von diesem war nach dem Gefrieren kein unbeschädigter Druckkörper zu erlangen. Sonderbarerweise waren hiergegen als einzige in der ganzen Reihe die von dem mit $CaCl_2$ ausgetauschten Großalmeroder Ton hergestellten Druckkörper vollständig unversehrt.

Irrtümlicherweise suchte man früher dem Umstand größten Wert beizulegen, nämlich, daß die Druckfläche genau berechnet und die Werte angegeben wurden, berechnet auf ein Quadratzentimeter Druckfläche, da man annahm, daß, je größer die Druckfläche ist, auch entsprechend die Druckbelastung gesteigert werden müßte. Man stützte sich hierbei auf die in der Technik gebräuchlichen Messungen der Bindefähigkeit plastischer Rohstoffe und Massen[46]). Atterberg glaubte dabei das so äußerst störende Schwinden des Bodens ausschalten zu können. Genauer betrachtet handelt es sich dabei um ganz minimale Abänderungen des ermittelten Festigkeitswertes. An meinen Untersuchungen konnte ich feststellen, daß die Druckwerte ungeachtet der Schwankungen innerhalb ein und derselben Untersuchungsreihe nicht nur zunehmen, wenn die Druckfläche an Umfang zunimmt, sondern auch dann, wenn die Druckkörper höher als breit sind, d. h. wenn sie mehr säulenförmige Gestalt annehmen.

Das Idealausmaß der Druckkörper, das somit anzustreben ist, wird jedenfalls immer das sein, bei dem sich die Höhenmaße mit der Größe des Durchmessers decken; nur auf solche Weise wird es möglich sein, das Quellungs- und Schwindungsphänomen angemessen berücksichtigen zu können.

Quellung und Schwindung.

Bei den in so verschiedener Weise vorbereiteten Böden und Tonen konnten in dieser Hinsicht auch gewisse Unterschiede beobachtet werden.

Wenn auch zwischen den beiden Erscheinungsformen eine gewisse Wechselbeziehung besteht, so konnte doch mitunter auch beobachtet werden, daß die Schwindung nicht im selben Ausmaße einsetzte, in der die Quellung erfolgt war. Sehr verhaltend wirkte in dieser Hinsicht der Humusgehalt des Bodens. Ja es konnte, wie es der Fall war bei dem Boguslawitzer Boden, dieser Einfluß so dominierend sein, daß eine Schwindung überhaupt nicht einsetzte, und man Mühe hatte, die getrockneten Druckkörper aus dem Gefäß herauszubekommen. Bei den Druckkörpern aus Boguslawitzer Boden, der mit NaCl vorbehandelt war, wie bei dem mit KCl und $BaCl_2$, zeigte sich eine gewisse Differenzierung im Schwindungsvorgang, d. h. eine Zusammenziehung in horizontaler, radi-

aler Richtung trat kaum ein, dagegen eine in der Vertikalrichtung. In gleicher Weise, wenn auch in etwas geringerem Umfange, war dies zu beobachten bei den genau so vorbehandelten Bodenproben von Wersingawe. Der Boden von Rostersdorf dagegen zeigte diese Erscheinung nicht. Bei ihm trat die Schwindung im gleichen Verhältnis ein.

Die Wirkung des Humusgehaltes auf die Festigkeit ist dabei in höchstem Maße doppelsinnig. Besonders tritt dies wiederum sehr scharf in Erscheinung bei dem Boden von Boguslawitz. Einmal wurde durch ihn die Festigkeit sehr gesteigert, bei gleichzeitig stark in Erscheinung tretender Schwindung, im anderen Falle wird fast jeglicher Zusammenhalt innerhalb des Bodens zwischen den einzelnen Krümeln zerstört. Eine Schwindung an den Druckkörpern in letzterem Falle wird überhaupt nur in den wenigsten Fällen wahrgenommen.

Sehr kennzeichnend ist hierfür die in einer vorhergehenden Tabelle erfolgte Gegenüberstellung von Festigkeitswerten ein und derselben Bodenprobe, die verschieden mechanisch vorbereitet war. Vollständig lufttrockener, unbehandelter Boguslawitzer Boden durch ein 2 mm-Sieb gesiebt, zeigt keine Schwindung, einerlei ob gefroren oder ungefroren. Zerstörte man die Bodenkrümel durch eingehendes Reiben im Achatmörser, so war nachher an den daraus hergestellten Druckkörpern ein Schwinden festzustellen. Ließ man aber den durch ein 1 mm-Sieb gesiebten Boden gefrieren, so trat bei diesen Druckkörpern bereits ebenfalls das Schwinden in Erscheinung.

Auf Grund dieser Beobachtung aber dem Frost eine aufteilende Wirkung auf die Bodenteilchen des Druckkörpers zuzuschreiben, ist noch nicht möglich. Denn bei den Druckkörpern, hergestellt aus dem mit KCl behandelten Boden, kehrt sich bereits das Verhältnis um. Am ungefrorenen Boden wurden viel größere Festigkeitswerte ermittelt als bei dem gefrorenen. Es nimmt jedenfalls der humusreiche Boden, sobald seine Krümel hinreichend zerkleinert sind, an Festigkeit zu, damit wird in gleicher Weise das Schwindungsvermögen gesteigert. Ist die Wirkung teilchenvergröbernd, so tritt ein Schwinden überhaupt nicht ein.

Als Idealobjekt für das Studium dieser Schwindungserscheinung zeigte sich der Gäbersdorfer Ton. Hier bot sich immer dasselbe Bild dar, je stärker die Quellung erfolgte, um so heftiger setzte nachher die Schwindung ein, immer aber im gleichen Verhältnis. Je nachdem seine Adsorptionskapazität mit der einen oder der anderen Base gesättigt war, trat dieser Prozeß stärker oder schwächer in Erscheinung. Die stärkste Quellung wurde bei dem Gäbersdorfer Na-Ton erzielt. Es dehnt sich hierbei das Volumen des Druckkörpers über das zweifache fast bis auf das dreifache seiner

ursprünglichen Raumerfüllung aus. Der Quellungsvorgang erfolgte wesentlich langsamer als bei den übrigen Austauschtonen und erreichte erst nach einem Monat sein Endstadium. Die dann beim Trocknen einsetzende Schwindung bewirkte eine Verringerung des Volumens bis um ein Drittel des ursprünglichen, vor der Quellung.

Sehr in seinem Verhalten hiergegen fiel der Großalmeroder Ton ab. Die von ihm durch Basenaustausch hergestellten verschiedenen Proben glichen sich untereinander insofern, als sie alle infolge des Gefrierens das gleiche Verhalten zeigten. Jeweils nach dem Gefrieren trat bei allen Proben ein auffallendes „Ineinanderfließen" ein. Bei dem zugleich eintretenden Schwinden war zu beobachten, daß die einzelnen Teilchen sich nicht etwa wie bei den Böden und dem Gäbersdorfer Ton in radialer oder vertikaler Richtung bewegten (gewissermaßen bestrebt, sich nach einem „Zentralpunkt" zu ordnen), sondern daß diese sich in verschiedener Richtung hin orientierten (gewissermaßen bestrebt, sich nach mehreren „exzentrisch" gelegenen Punkten zu ordnen). Die Folge hiervon war, daß von keiner, außer der mit $CaCl_2$ behandelten, dieser verschiedenen Tonproben vollständig unbeschädigte Druckkörper zu erhalten waren, sobald diese den Gefrierprozeß durchgemacht hatten. Alle wiesen mehr oder weniger Sprünge auf.

Zusammenfassung:

1. Bei Versuchen, durch vorsichtige Auswaschung mit destilliertem Wasser die Grundgerüste der Bodenkrümel näher zu ermitteln, wurden mit Hilfe eines Wollprüfungs-Projektionsapparates gewisse Unterlagen erhalten, die aber nicht befriedigten.

2. Die Bildung von Kalkspatkristallen bei mit verschiedenen Kalksalzen behandeltem Boden verschiedener Art wurde im Laboratorium wie Freiland und ebenso auch bei Naturböden verfolgt.

3. Druckfestigkeitsuntersuchungen erfolgten unter Vermeidung eines Zusammenknetens der Bodenproben, nachdem diese dem Basenaustausch mit verschiedenen Basen unterzogen worden waren, wobei zum Teil auch Frostwirkung herangezogen wurde. Dabei ergab sich:

a) je feiner die Sortierung des Bodens, um so größer erwies sich die Schwindung beim Trocknen, sowie die Druckfestigkeit bei ungefrorenem Boden. Durch Gefrieren nahm die Druckfestigkeit zumeist ab.

b) Kalkbehandlung vermindert die Druckfestigkeit, wenn sie im Felde nach landwirtschaftlichem Gebrauch erfolgt war.

c) Bei den untersuchten Tonen ergab sich nur zum Teil sehr starke Erhöhung der Druckfestigkeit durch Austausch gegen Natrium. Sonst waren die Ergebnisse wohl noch zu stark durch Unvollkommenheiten der Methodik beeinträchtigt.

d) Bei den benutzten Ackerböden brachte Austausch gegen Säurewasserstoff starkes Herabgehen der Druckfestigkeit, gegen Natrium stärkeres Ansteigen. Die Werte der alkalischen Erden erscheinen nicht eindeutig.

Literaturverzeichnis.

[1]) Nabokich, A., Petrologische Arbeiten im Felde, zit. H. Stremme, Grundzüge der praktischen Bodenkunde, S. 71—73, 1926.

[2]) Janert, H., Landw. Jahrbücher, **66,** 425 (1927).

[3]) Rosenbusch, H., Elemente der Gesteinslehre, 4. Aufl., S. 55, 1923.

[4]) Ehrenberg, P. u. van Zyl, J. P., Internat. Mitt. f. Bodenkunde, **7,** 90 (1917).

[5]) Rinne, F., Gesteinskunde, 5. Aufl., S. 68.

[6]) Fry, W. H., Journ. Agr. Res., **24,** 879—883 (1921).

[7]) Nolte, O. u. Hahn, E., Journal für Landw., **65,** 79 (1917).

[8]) Ehrenberg, P., Hahn, E. u. Nolte, O., Kolloidzeitschrift, **21,** 15 (1917).

[9]) Ungerer, E., Kollchem. Beihefte, **14,** 69 (1921/22).

[10]) Gedroiz, K. K., Kollchem. Beihefte, **29,** 149 (1929).

[11]) Ehrenberg, P. u. van Zyl, J. P., Internat. Mitt. f. Bodenkunde, **7,** 90—103 (1917) u. **8,** 41—49 (1918).

[12]) Puchner, H., Die Schollenanalyse; Mitt. d. Prüfungsanstalt f. landw. Maschinen in Wachenstephan, **50,** 3 (1908).

[13]) Mitscherlich, E., Bodenkunde f. Land- u. Forstwirte, 3. Aufl., S. 135 u. a. A., 1920.

[14]) Derselbe, S. 65.

[15]) Tjulin, A. F., Fragen der Bodenstruktur II. Landw. Vers.-Stat. Perm, Arb. d. Agrochem. Lab. Heft 2 (1928), (russisch).

[16]) Atterberg, A., Int. Mitt. f. Bodenkunde, **2,** 317 (1912).

[17]) Marquis, E., Int. Mitt. f. Bodenkunde, **5,** 381 (1915).

[18]) Puchner, H., Int. Mitt. f. Bodenkunde, **3,** 141 (1913).

[19]) Puchner, H., Int. Mitt. f. Bodenkunde, **3,** 297 (1913).

[20]) Mitscherlich, E., Bodenkunde f. Land- u. Forstwirte, 3. Aufl., S. 82, 1920.

[21]) Heinrich, R., Grundlagen zur Beurteilung der Ackerkrume, Wismar 1882.

[22]) Haberlandt, Fr., Wissensch. prakt. Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaus, Bd. 1, S. 22, Wien 1875.

[23]) Derselbe, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik, Bd. 1, S. 148, 1878.

[24]) Hazard, J., Landw. Jahrb., **29,** 892 (1900).

[25]) Puchner, H., Bodenkunde f. Landwirte, 1. Aufl., S. 389—393, 1923.

[26]) Johansson, S. (vorl. Bericht von A. Atterberg), Internat. Mitt. für Bodenkunde, **4,** 420 (1914).
[27]) Zander, H., Internat. Mitt. f. Bodenkunde, **10,** 89 ff. (1920).
[28]) Sokolowski, H. N. u. Lukaschewitsch, E. S., Fortschritte der Agronomie (Moskau), **1,** 47—58 (1925), ref.: Internat. agrikulturwiss. Rundschau, **2,** 360—362 (1926).
[29]) Dienemann, W. u. Burre, O., Die nutzbaren Gesteine Deutschlands und ihre Lagerstätten, Bd. 1, S. 169 (1928).
[30]) Dasselbe, S. 137.
[31]) Gedroiz, K. K., Chemische Bodenanalyse, S. 121 u. a. O. (1926).
[32]) Kelley, W. P. u. Brown, S. M., Soil Sci, **20,** 477 (1925).
[33]) Cumins, A. B. u. Kelley, W. P., Soil Sci, **15,** 269 (1921).
[34]) Ramann, E., Bodenkunde, 3. Aufl., S. 246 (1911).
[35]) Joffe, J. S. u. Mc Lean, H. C., Soil Science, **23,** 127 (1917). schau, **2,** 360—362 (1926).
[36]) Mitscherlich, E., Bodenkunde f. Land- u. Forstwirte, 3. Aufl., S. 360—362, 1920.
[37]) Krakow, S., Journ. f. Landw., **48,** 209 ff. (1900).
[38]) Sokolowski, H. N. u. Lukaschewitsch, E. S., ref. in Intern. Rundschau, **2,** 360—362 (1926).
[39]) Kohl, H., Keram. Rundschau, **34,** 602 (1926).
[40]) Giwen, G., Diss. Göttingen 1915, S. 18 ff.
[41]) Mattson, S. E., Diss. Breslau 1922.
[42]) Wawziniok, O., Handbuch des Materialprüfungswesens, 2. Aufl., S. 35.
[43]) [44]) Gorka, H., Kollchem. Beihefte, **25,** 127 (1927).
[45]) Ehrenberg, P., Landwirtsch. Versuchsstat., **69,** 259 (1908).
[46]) Stauffer, Lyn. H., Soil Science, **24,** 373 (1927).

Lebenslauf.

Ich, Wolfgang, Walther, Günther Schirlo, evangelischer Konfession, Sohn des Kassenvorstehers a. D. Franz Schirlo, wurde am 19. November 1898 zu Weilmünster (Oberlahnkreis) geboren. Nach Absolvierung der vier Vorschulklassen der städtischen Mittelschule zu Wiesbaden besuchte ich dort sodann das staatliche Realgymnasium. Am 15. November 1916 verließ ich die Anstalt, um in den Heeresdienst zu treten. Am 2. Februar 1918 bei La Bassée schwer verwundet, wurde ich infolge der erlittenen Kriegsbeschädigung am 1. August 1918 als d. u. aus dem Heeresdienst entlassen.

Nach kurzer Betätigung auf dem landwirtschaftlichen Versuchsfelde des Landwirtschaftlichen Institutes der Universität zu Gießen ließ ich mich dort als Student der Landwirtschaft immatrikulieren. Außerdem nahm ich an dem Kriegsteilnehmerkursus zur Vorbereitung zum Abiturientenexamen teil. Am 21. Februar 1921 erhielt ich das Zeugnis der Reife. Nach achtsemestrigem Studium legte ich die Landwirtschaftslehrer-Prüfung ab.

Meiner landwirtschaftlich-praktischen Ausbildung genügte ich in landwirtschaftlichen Betrieben in der Grafschaft Glatz und im Unterlahnkreis. Als landwirtschaftlicher Hilfslehrer war ich tätig vom 1. Dezember 1921 bis 1. April 1922 an der Landwirtschaftlichen Schule zu Frankenberg a. d. Eder. Am 15. November 1923 übernahm ich in Thüringen sodann den landwirtschaftlichen Unterricht an der Berufsschule des Berufsschulzweckverbandes Markfuhl, Eckhardtshausen und Möhra und wirkte dortselbst zu gleicher Zeit als Wirtschaftsberater. Vom 1. Februar 1925 ab war ich sodann tätig an der landwirtschaftlichen Berufsschule in Arnstadt mit dem Auftrag, im Rahmen dieser Schule für junge, praktische Landwirte dieses Kreises Lehrkurse abzuhalten. Vom 1. April bis 1. August 1926 war ich als Wirtschaftsberater der neugegründeten Kreislandwirtschafts-Kammer für den Kreis Arnstadt unterstellt. Das Thüringische Ministerium für Inneres und Wirtschaft übertrug mir darauf vom 1. August 1926 ab eine Lehrstelle an der neueingerichteten landwirtschaftlichen Schule für den Kreis Arnstadt. Hier war ich tätig bis 1. Oktober 1927.

Sodann siedelte ich nach Breslau über, um hier im agrikulturchemischen Institut der Universität Breslau bei Herrn Professor Ehrenberg vorliegende Arbeit durchzuführen.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. Ehrenberg an dieser Stelle noch einmal für seinen freundlichen Rat und seine Unterstützung meinen aufrichtigen Dank auszusprechen.